



SATAKUNTALIITTO

Esiselvitys aurinkoenergian tuotantoalueista

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään.

Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Kannen kuva: Colourbox.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Sisäinen tarkistussivu

Asiakas	Satakuntaliitto
Projektin otsikko	Esiselvitys aurinkoenergian tuotantoalueista
Projektinnumero	101001204-002
Luokitus	Julkinen
Tiedoston nimi	101001204_Satakuntaliitto_Esiselvitys_aurinkoenergian_tuotantoalueista_20160428_LOPPURAPORTTI.docx
Järjestelmä	Microsoft Word 14.0
Ulkoinen jakelu	Satakuntaliitto, julkinen
Sisäinen jakelu	Pöyry Finland Oy / Arkisto
Laatija	
Vastaava yksikkö	Pöyry Finland Oy / EBG Thermal and Renewable Energy
Luonnos	
Dokumentin pvm	26.2.2016
Laatija / asema / allekirj.	Mira Hulkkonen / Projektikoordinaattori
Tarkistuspvm	29.2.2016
Tarkistanut / asema / allekirj.	Thomas Bonn / Projektipäällikkö
Loppuraportti	
Dokumentin pvm	15.4.2016
Laatija / asema / allekirj.	 Mira Hulkkonen / Projektipäällikkö
Tarkistuspvm	13.4. 2016
Tarkistanut / asema / allekirj.	 Jouni Laukkanen / Osastopäällikkö
Loppuraportti Rev A	
	28.4.2016

Esipuhe

Satakunnan vaihemaakuntakaava 2 on valmisteilla. Sen yhtenä energiantuotantoon liittyvänä alateemana on mahdollisesti aurinkoenergia. Syksyllä 2015 on käynnistetty hanke *Valtakunnallisesti merkittävät yritysalueet ja teollisuuden uusiutumisen mahdollistaminen*; tässä raportissa esiteltävä esiselvitys suurista pinta-aloista vaativien aurinkoenergian tuotantoalueiden tarkastelusta maakuntatasolla on osa edellä mainittua hanketta. Työn tavoite on edistää laajojen aurinkoenergian tuotantoalueiden sijoittamisen selvittämistä maakuntatasoisessa suunnittelussa.

Työn ohjausryhmä

Päivi Liuska-Kankaanpää, Satakuntaliitto
Anne Nummela, Satakuntaliitto
Veli-Matti Rintala, Satakuntaliitto
Susanna Roslöf, Satakuntaliitto
Anne Savola, Satakuntaliitto
Maunu Häyrynen, Porin yliopistokeskus, maisemantutkimuksen koulutusohjelma
Jouni Mäkinen, Rauman kaupunki
Meri Olenius, Satakunnan ammattikorkeakoulu (SAMK)
Kari Ylikoski, Nakkilan kunta

Työn laatija, Pöyry Finland Oy

Thomas Bonn, FM biologia
Mira Hulkkonen, FM meteorologia, FM tiedeviestintä
Mari Kangasluoma, DI ympäristötekniikka, FM ympäristötiede
Ville Koskimäki, FM maantiede
Jouni Laukkanen, DI energiatekniikka
Petri Niemi, DI sähkötekniikka
Timo Huhtinen, Sito Oy, DI, kaavanlaatijan pätevyys YKS-245
Hanna-Maria Piipponen, Sito Oy, maisema-arkkitehti

Yhteystiedot
PL 4, Jaakonkatu 3
01621 Vantaa
puh. 010 33 11
sähköposti etunimi.sukunimi@poyry.com
www.poyry.fi

Yhteenveto

Laajojen aurinkoenergian tuotantoalueiden tarkastelu maakuntatasolla on tässä raportissa esitellyn esiselvityksen lähtökohta. Selvityksen tavoitteena on tarjota Satakuntaliitolle työkaluja aurinkoenergian tarkastelemiseksi osana vaihemaakuntakaava 2:n laadinnan valmistelua.

Esiselvitys antaa perustiedot aurinkoenergiasta (eli aurinkosähkön ja aurinkolämmön tuotannosta), sen teknisistä ja taloudellisista lähtökohdista sekä ympäristövaikutuksista. Selvityksessä esitellään aurinkoenergian sekä siihen liittyvän lainsäädännön ja ohjauksen nykytilaa Suomessa, ja kartoitetaan esimerkkitapauksia ulkomailta. Työn keskeisimpiä teemoja ovat aurinkoenergian tuotantolaitosten maakunnallisesti merkittävän kokoluokan määrittely, sijoittelukriteeristön kokoaminen sekä pohdinta mahdollisuuksista ja tarpeesta osoittaa aurinkoenergiatuotantoon soveltuvia alueita maakuntakaavassa.

Aurinkosähkön tuotantokustannukset ovat laskeneet noin 75 % alle kymmenessä vuodessa. Teollisen mittakaavan aurinkoenergiatuotanto ei kuitenkaan Suomessa ole vielä käynnistynyt. Kapasiteetiltaan yli 500 kW aurinkosähkön tuotantolaitoksia voidaan pitää teollisen kokoluokan laitoksina. Aurinkosähkön tuotannon kokonaiskapasiteetti Suomessa on noin 11 MW ja se on keskittynyt katoilla tai rakennusten yhteydessä tapahtuvaan kaupalliseen pientuotantoon. Ensimmäinen maaperusteinen aurinkopuisto on juuri otettu käyttöön, ensimmäinen teollisen mittakaavan aurinkopuisto on rakenteilla, ja suunnitteilla on useita suurempia teollisen kokoluokan maaperusteisia aurinkopuistoja, joiden suunniteltu pinta-ala olisi vähintään noin 20 ha. Euroopasta sen sijaan löytyy lukuisia esimerkkejä pinta-alaluokassa 150-400 ha ja kapasiteetiltaan 50–300 MW. Ulkomailla toteutetuissa laajoissa aurinkopuistohankkeissa korostuu ns. brown field -alueiden, eli aiemmin kovassa käytössä olleiden teollisuusalueiden, entisten kaivosten ja lentokenttien ym. ihmisen muokkaamien alueiden hyödyntäminen.

Aurinkoenergian tuotantoon on olemassa erilaisia ratkaisuja: aurinkopaneeleja erilaisilla materiaaleilla sekä keskittäviä ja ei-keskittäviä aurinkokeräinjärjestelmiä. Teollisen mittakaavan aurinkosähkötuoannon varastointiin ei vielä löydy kannattavia ratkaisuja, mutta paljon kehitystyötä on käynnissä. Erilaiset aurinkopaneelien perusratkaisut puolestaan mahdollistavat monentyyppisten alueiden hyödyntämisen; jopa vesialueille ja käytöstä poistuneille turvetuotantoalueille on mahdollista rakentaa aurinkoenergian tuotantojärjestelmiä.

Laaja-alaisten aurinkopuistojen merkittävin ympäristövaikutus liittyy maiseman muutokseen, mikäli alueen luontoarvot on huomioitu tarkoituksenmukaisesti suunnittelussa. Positiivisia vaikutuksia syntyy liittyen esimerkiksi tuotantomuodon päästöttömyyteen, aluetalouteen ja työllistymiseen, mahdolliseen luonnon monimuotoisuuden lisääntymiseen ja mahdolliseen alueen vetovoiman kasvuun. Ulkomailla toteutetuissa kyselytutkimuksissa aurinkoenergia on ollut hyväksytyin energiantuotantomuoto.

Euroopan Unionin direktiivin pohjalta eurooppalaisissa maissa on pyritty yksinkertaistamaan ja virtaviivaistamaan uusiutuvan energian hankkeiden lupamenettelyä. Kuten Suomessakin, aurinkoenergian pientuotanto on monissa maissa mahdollista hyvin kevyellä lupaprosessilla (Suomessa kunnasta riippuen vaaditaan

useimmiten vain toimenpidelupa). Laajat tuotantoalueet sen sijaan vaativat useimmiten vaikutustenarvioinnin ja monivaiheisemman lupaprosessin, mutta brown field -alueiden hyödyntämiseen on voitu ohjata kevennetyllä prosessilla. Suomessakin on vastikään käynnistetty ensimmäisen asemakaavan laatiminen aurinkopuistoa varten.

Tuotetun aurinkosähkön liittäminen verkkoon voi tapahtua joko keski- tai suurjännitteisesti, riippuen aurinkopuiston kokonaistehosta. Selvityksessä esitetään, että kapasiteetiltaan noin yli 15 MW olevat aurinkopuistot tulisi lähtökohtaisesti liittää 110 kV -verkkoon; sitä pienemmät puistot on teknistaloudellisesti järkevää liittää 20 kV -verkkoon. Maakunnallisesti merkittävän kokoluokan määrittelyä voidaan lähestyä mm. tarkastelemalla tuotantoalueen vaatimaa sähköverkkoliityntää sekä vertaamalla aurinkoenergiaa tuulivoimahankkeiden käsittelyyn maakuntakaavoissa. Tällöin maakunnallisesti merkittävän kokoluokan alarajaksi muodostuisi kapasiteetti 30 MW ja pinta-ala 60 ha.

Valtakunnallisia tavoitteita voidaan edistää maakuntakaavoituksella, jonka kautta tavoitteet ensivaiheessa välittyvät maakuntatasolle. Aurinkoenergialle ei ole asetettu Suomessa varsinaisia määrällisiä tavoitteita, mutta uusiutuvalle energialle kokonaisuutena on kuitenkin asetettu valtakunnallisia ja maakunnallisia tavoitteita, ja aurinkoenergia on yksi mahdollisuus muiden joukossa. Aurinkoenergian tuotannon lisääminen tukee Suomen ilmasto- ja energiastrategiassa asetettuja tavoitteita hiilidioksidipäästöjen rajoittamisesta sekä uusiutuvan energian osuuden kasvattamisesta.

Satakunnan maakuntaohjelmassa 2014–2017 todetaan, että aurinkoenergia voi tarjota uusia mahdollisuuksia Satakunnalle. Yhtenä maakuntaohjelman painopisteenä on teollisuuden kasvu ja uusiutuminen ja toimenpiteenä uusiutuvan energian osuuden lisääminen energiantuotannossa. Satakunnan pitkän aikavälin strategisessa suunnitelmassa, maakuntasuunnitelmassa, on puolestaan todettu: ”Kehitämme, tuotamme ja käytämme tuuli- ja aurinkovoimaa sekä bioenergiaa”. Myös Satakunnan ilmasto- ja energiastrategiassa linjatuissa strategisissa tavoitteissa tuodaan esiin uusiutuvan energian käytön ja tuotannon edistäminen. Aurinkoenergian tuotantoalueiden merkitseminen maakuntakaavaan voi siis olla perusteltua mainittujen tavoitteiden edistämisen näkökulmasta, vaikka määrällisiä tavoitteita ei olekaan asetettu aurinkoenergialle.

Kuntakohtaiset maankäytön ohjausvälineet (yleiskaava, asemakaava, toimenpidelupa ja kunnan rakennusjärjestys) voivat olla riittäviä keinoja ohjata aurinkoenergian tuotantoalueiden rakentamista. Jos maakuntakaavalla kuitenkin halutaan ohjata ja edistää aurinkoenergian tuotantoalueiden suunnittelua, tulisi maakuntakaavan suunnittelumääräysten tai muiden kaavamerkintöjen kohdistua kokoluokaltaan maakunnallisesti merkittäviin aurinkoenergian tuotantoalueisiin.

Aurinkoenergian tuotantoalueiden osoittamiseen ja kestävän aurinkoenergiasuunnittelun ohjaukseen maakuntakaavoituksen keinoin on vaihtoehtoisia tapoja. Suunnittelumääräyksellä voidaan tuoda esiin paitsi aurinkoenergiaa toivottuna maankäyttömuotona, myös tuotantoalueen ympäristövaikutusten huomiointiin liittyviä asioita, ja ohjeistaa siten jatkosuunnittelua toivottuun suuntaan. Aluevarausmerkinnällä puolestaan on mahdollista osoittaa alueen rajat ja laajuus, ja merkintä voidaan kohdistaa alueelle, joka on valittu esimerkiksi tässä raportissa esiteltujen kriteerien pohjalta. Aurinkoenergian tuotantoalue ei kuitenkaan välttämättä vaadi omaa aluevarausmerkintää, vaan tavoiteltu ohjausvaikutus voidaan saavuttaa myös lisäämällä maininta aurinkoenergiasta vaihtoehtoisena maankäyttötapana muun, esimerkiksi EN-, ET-, TT- tai M-aluevarausmerkinnän kuvaukseen.

Raportissa käytetyt yksiköt ja termit

Etuliite	SELITYS
μ	mikro, miljoonasosa perusyksiköstä
m	milli, tuhannesosa perusyksiköstä
k	kilo, tuhat perusyksikköä
M	mega, miljoona perusyksikköä
G	giga, miljardi perusyksikköä

TERMI / YKSIKKÖ	SELITYS
Aurinkoenergia	Aurinkosähkö ja/tai aurinkolämpö
Aurinkokenno	Aurinkokenno koostuu elektrodiparista, jossa auringon säteily muunnetaan sähköenergiaksi valosähköisen ilmiön avulla. Voidaan jakaa esimerkiksi piipohjaisiin ja ohutkalvotekniikkaan perustuviin kennoihin.
Aurinkokeräin	Auringon säteilyenergiaa vastaanottava järjestelmä. Järjestelmässä kiertävä neste siirtää lämmön eteenpäin käyttökohteeseen.
Aurinkolämpö	Auringon säteilyenergian muuntamista lämmöksi esimerkiksi aurinkokeräimen avulla
Aurinkopaneeli	Sarjaan kytketyt aurinkokennot muodostavat aurinkopaneelin. Aurinkopaneeli on aurinkosähkön tuotantolaitosten peruskomponentti.
Aurinkopuisto	Lukuisista aurinkopaneelisarjoista koostuva aurinkosähkön tuotantoalue
Aurinkosähkö	Auringon säteilyenergian muuntamista sähköksi esimerkiksi valosähköisen ilmiön avulla
CSP	Keskittävä aurinkovoima (<i>engl. Concentrated Solar Power</i>). Järjestelmä vastaanottaa auringon säteilyenergiaa keskittämällä sen parabolisten peilien tai keskittävien tasopeilien avulla polttopisteeseen, jossa oleva kattila tai lämmönsiirtoputki lämpenee. Lämmennyt nestettä voidaan hyödyntää esimerkiksi sähköntuotantoon.
Invertteri	Tasasähkön vaihtosähköksi muuntava laite
Keskijänniteverkko	Tyypillisesti 10 kilovoltin tai 20 kilovoltin pääjännitteellä toimiva sähköverkon osa.
Keskittävä aurinkovoima	kts CSP
kV/m	Kilovoltia metriä kohden, sähkökentän voimakkuuden yksikkö
Muuntaja	Sähkölaite, jonka tarkoituksena on siirtää tehoa sähköjärjestelmän jännitetasosta toiseen sähkömagneettisen induktion avulla
Muuntamo	Sähkötila, joka sisältää sähkön pienjännitteisestä keskijännitteiseksi muuntavan muuntajan oheislaitteineen
Muuntoasema	Sähköasema-alue, joka sisältää sähkön keskijännitteisestä suurjännitteiseksi muuntavan muuntajan oheislaitteineen sekä mahdollisine erillisine keskijännitesähkötiloineen
Pienjänniteverkko	Tyypillisesti 400 voltin (0,4 kilovoltin) pääjännitteellä toimiva sähköverkon osa (yksivaiheinen tehollisarvo noin 230 V)
PV	<i>engl. photovoltaic</i> , kts. aurinkosähkö
Suurjänniteverkko	Suomessa tyypillisesti 110 kilovoltin, 220 kilovoltin tai 400 kilovoltin pääjännitteellä toimiva sähköverkon osa
T	Tesla (asiayhteydessä μT mikrotlesla), magneettivuontiheyden yksikkö
Tasokeräin	Aurinkokeräintyyppi, jossa kiertää lämpöä siirtävä neste
Tyhjiökeräin	Aurinkokeräintyyppi. U-putki -tyhjiökeräin toimii samalla periaatteella kuin tasokeräin. Lämpöputki - keräimessä neste höyrystyy ja siirtää lämmön.

V	Voltti, jännitteen yksikkö
VA	Volttiappeeri, näennäistehon yksikkö
W	Watti, (pätö)tehon yksikkö
Wh	Wattitunti, energian yksikkö. Käytetään esimerkiksi auringonsäteilyn tai energiantuotannon yhteydessä. Usein kWh tai MWh.
Wp	Watti (peak), asennetun huipputehon yksikkö

SISÄLTÖ

Esipuhe

Yhteenveto

Työssä käytetyt termit

1	JOHDANTO	2
1.1	Selvityksen tavoite ja rajaukset	2
2	TAUSTATIETOA AURINKOENERGIAN TUOTANNOSTA	3
2.1	Tekniset lähtökohdat	3
2.2	Tilantarve ja vaadittava infrastruktuuri	7
2.3	Taloudelliset lähtökohdat	15
3	AURINKOENERGIA SUOMESSA JA SATAKUNNASSA	21
3.1	Tuotantolaitokset ja tuotanto	21
3.2	Aurinkoenergiatuotantoon liittyvät tavoitteet	23
4	AURINKOENERGIAN TUOTANTOALUEIDEN HUOMIOINTI MAANKÄYTÖN SUUNNITTELUSSA JA LUPAMENETTELYT	24
4.1	Suomessa	24
4.2	Mualla Euroopassa	25
5	AURINKOENERGIAN TUOTANTOALUEIDEN VAIKUTUKSET	30
5.1	Laajat tuotantoalueet	30
5.2	Sähkön siirron vaikutukset	39
5.3	Esimerkitapaukset Nakkila ja Rauma	40
6	AURINKOENERGIAN TUOTANTOALUEET MAAKUNTAKAAVASSA	44
6.1	Tavoitteet ja tarve	44
6.2	Maakuntakaavan sisältövaatimukset, merkintätyypit ja oikeusvaikutukset	45
6.3	Kaavamerkintöjen soveltuminen aurinkoenergian tuotantoalueiden osoittamiseen	47
6.4	Sijoittumista ohjaavat kriteerit ja sopivat sijoittumisalueet	49
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	53
8	LÄHTEET JA VIITTEET	55

1 JOHDANTO

1.1 Selvityksen tavoite ja rajaukset

Esiselvityksen tavoitteena on tarjota tietopaketti koskien laajoja aurinkoenergian tuotantoalueita Satakunnan vaihemaakuntakaavan 2 laadintaa varten. Työssä lähestytään aurinkoenergiaa erityisesti maakunnallisesti merkittävän kokoluokan näkökulmasta ja tulevaisuuteen tähdäten, sekä pohditaan tarvetta ja mahdollisuuksia huomioida aurinkoenergian tuotantoalueet maakuntatason kaavoituksessa.

Selvitys antaa pohjatiedot aurinkoenergiaan (eli aurinkosähkön ja aurinkolämmön tuotantoon), sen teknisiin ja taloudellisiin lähtökohtiin sekä vaikutuksiin liittyen. Selvityksessä esitellään aurinkoenergian sekä siihen liittyvän lainsäädännön ja ohjauksen nykytilaa Suomessa, ja kartoitetaan esimerkkitapauksia ulkomailta. Työn keskeisimpiä teemoja ovat aurinkopuistojen *maakunnallisesti merkittävän kokoluokan* määrittely, sijoittelukriteeristön kokoaminen sekä pohdinta tarpeesta ja tavoista osoittaa aurinkoenergiatuotantoon soveltuvia alueita maakuntakaavassa.

Esiselvityksessä esitellään lyhyesti aurinkoenergiatuotannon eri mahdollisuuksia, mutta syvemmin ei käsitellä rakennusten yhteyteen asennettavia aurinkosähkön pientuotantojärjestelmiä, eikä keskittävää aurinkolämmön tuotantoa. Työssä ei myöskään kartoiteta aurinkoenergiatuotantoon sopivia alueita Satakunnassa tai muualla, vaan esitetään ainoastaan ehdotuksia sijoittelun kriteereiksi ja tuodaan esiin asioita, joita sijoittelussa tulee huomioida.

2 TAUSTATIETOA AURINKOENERGIAN TUOTANNOSTA

2.1 Tekniset lähtökohdat

Aurinkoenergian hyödyntämiseen kehitetty teknologia on luokiteltavissa kolmen pääpiirteen kautta:

- passiivinen tai aktiivinen järjestelmä
- sähkön tai lämmön tuotantoon soveltuva teknologia
- keskittävä tai ei-keskittävä teknologia

Tässä selvityksessä keskitytään aktiiviseen aurinkoenergian hyödyntämiseen. Passiivinen hyödyntäminen liittyy esimerkiksi rakennusten suunnitteluun ja rakentamiseen siten, että auringonvalo- ja lämpö tulee hyödynnetyksi mahdollisimman tehokkaasti järkevän suuntauksen ja esimerkiksi isojen ikkunapintojen avulla.

Aktiivista aurinkoenergiateknologiaa on kehitetty sekä sähkön että lämmön tuotantoon. Tässä selvityksessä pääpaino on aurinkokennoja hyödyntävässä sähköntuotannossa, mutta myös aurinkolämmön periaate ja keskittävä aurinkovoima esitellään.

Lisäksi aurinkoenergiaa hyödyntävät ratkaisut voidaan jaotella niiden mittakaavan, kapasiteetin ja tuotannon perusteella. Voidaan puhua esimerkiksi pientuotannosta ja teollisen mittakaavan tuotannosta.

2.1.1 Aurinkosähkö (PV)

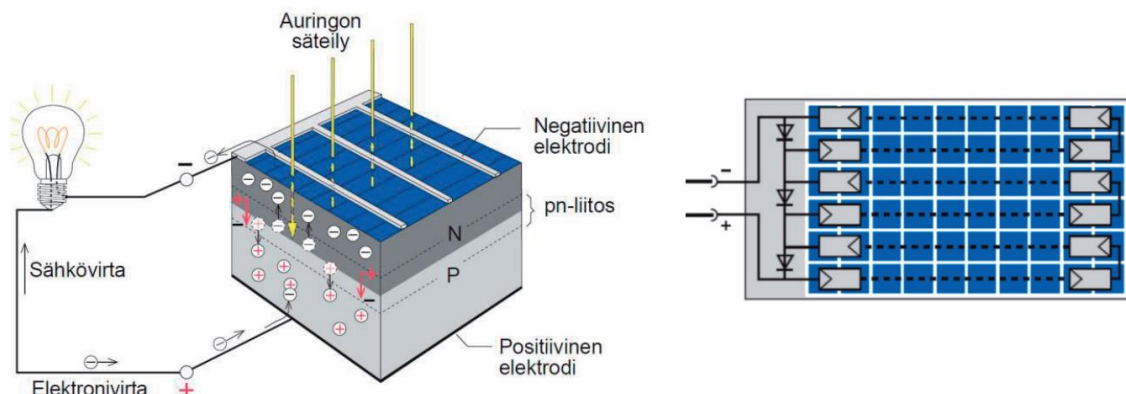
Auringon säteilyenergian muuntaminen hyödynnettäväksi energiaksi on mahdollista toteuttaa useilla eri teknologioilla. Tällä hetkellä maailmanlaajuisesti eniten kokemusta on *aurinkosähköstä* (engl. *photovoltaic*, PV), jossa auringon säteilyenergiaa muutetaan suoraan sähköenergiaksi.

Aurinkosähkön tuotannossa hyödynnettävät teknologiat on jaettavissa kolmeen sukupolveen.

- **Ensimmäisen sukupolven teknologiaa** edustavat yksi- ja monikiteiset piikennot. Tämänhetkiset kaupalliset aurinkosähköjärjestelmät ovat pääasiassa kyseistä teknologiaa.
- **Toisen sukupolven teknologiaa** puolestaan ovat ns. ohutkalvoaurinkokennot. Tässä ja edellä mainitussa ensimmäisen sukupolven teknologiassa aurinkosähkön tuotanto perustuu valosähköiseen ilmiöön ja puolijohtavista materiaaleista (kuten piistä) rakennettuihin kennoihin, joissa auringon säteilyenergia saa aikaan sähköisen jännite-eron kahden ohuen puolijohde-elektrodin (p ja n) välille. Myös ohutkalvokennoja on kaupallisessa tuotannossa sekä myös käytössä suurissa aurinkopuistoissa.
- **Kolmannen sukupolven teknologiaksi** voidaan luokitella esimerkiksi nanokidekennot (Grätzel-kennot, väriaineherkistetyt aurinkokennot), joissa elektronien liike perustuu kemiallisiin reaktioihin. Ne ovat pääasiassa vielä tutkimuksen kohteena. Kehitysteella on myös useita muita kennotyyppejä: esim. joustavat ja rullattavat kennot, sekä keräävän peilin tai linssin yhteyteen asennettavat kennot.

Kaupallisissa aurinkosähköjärjestelmissä käytetään useista kennoista koostuvia aurinkopaneeleita. Auringon säteily tuottaa aurinkokennon elektrodipareissa sähköisen potentiaalieron, jonka synnyttämä tasasähkövirta voidaan kierrättää ulkoiseen sähköpiiriin. Aurinkopaneeleilla tuotettu tasasähkö voidaan edelleen muuttaa yleisessä sähköverkossa käytettäväksi vaihtosähköksi niin kutsuttujen inverttereiden avulla.

Kuva 2-1 havainnollistaa aurinkokennon ja -paneelin toimintaperiaatetta.



Kuva 2-1 Aurinkokennon ja sarjaan kytketyistä aurinkokennoista muodostuvan aurinkopaneelin toimintaperiaate (Kuva: Ahoranta 2015).

Tyypillisesti yhdestä nykyaikaisesta aurinkopaneelistä saatava sähköteho on noin 250-300 W. Aurinkopaneeleja voidaan kytkeä yhteen sähköverkkoliityntää varten, jolloin useampaa aurinkopaneelia varten voidaan käyttää yhtä tasavirran vaihtovirraksi muuttavaa invertteriä.

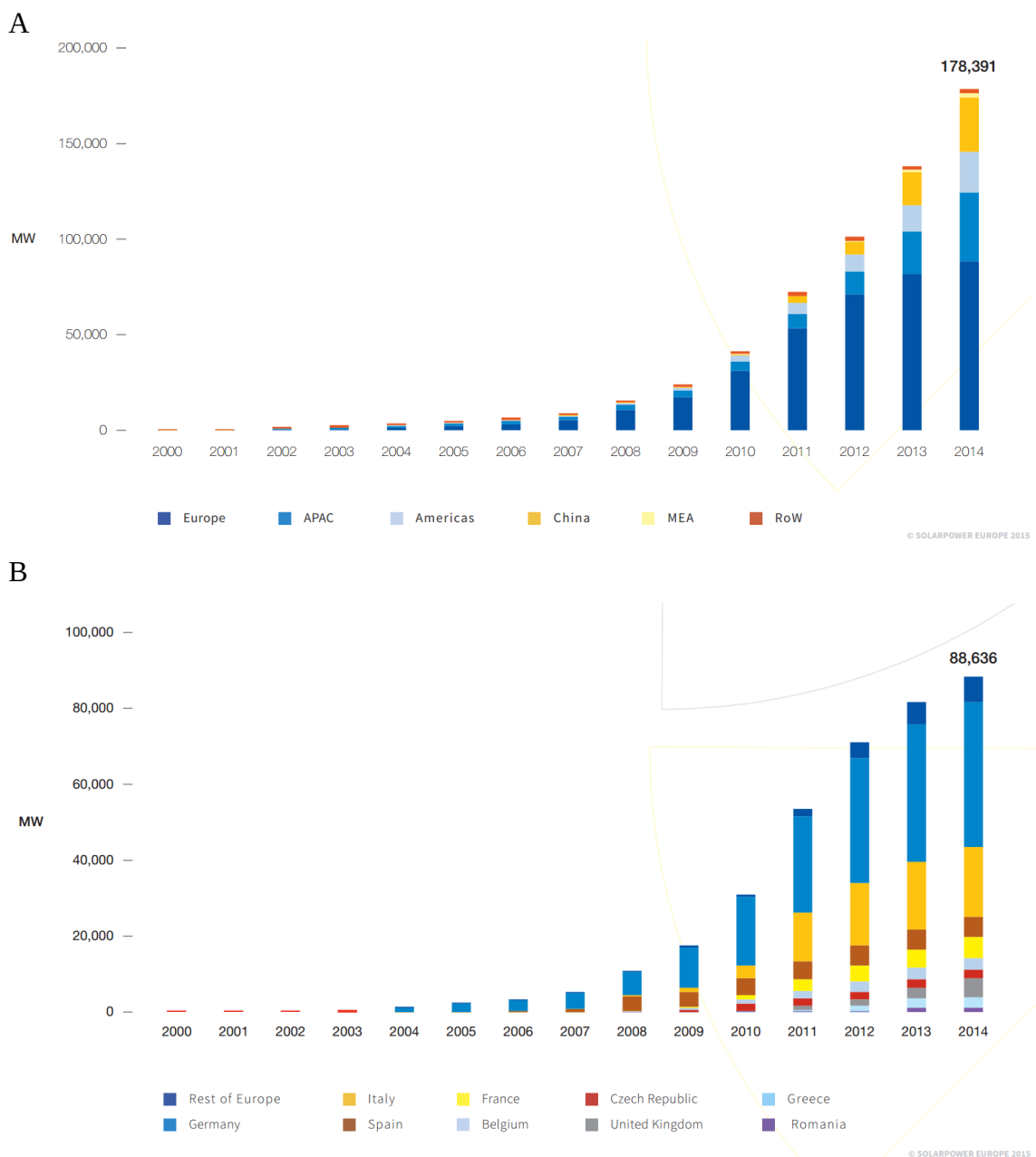
Paneelit ovat perinteisesti tasoon asennettuja. Kehitysasteella on kuitenkin myös mm. kartion muotoinen ja pyörivä Spin Cell -paneeli, joka muotonsa ansiosta vaatii vähemmän tilaa ja pyörimisen ansiosta välttyy ylikuumentumisongelmalta, mikä parantaa hyötysuhdetta.

Aurinkopaneelien yleisin pinnan väri nykyteknologialla on tummansininen.

Tyypillisesti 1 MW aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköenergiaa noin 800-1300 MWh vuoden aikana. Aurinkopaneelien hyötysuhde on noin 15 % tyypillisellä materiaalilla (esim. monikiteinen pii). Parhaimmat kaupalliset teknologiat voivat saavuttaa jopa yli 20 %:n hyötysuhteen. Eri materiaaleihin ja teknologisiin ratkaisuihin perustuvilla aurinkosähkökennoilla on erilaiset hyötysuhteet. Yhteistä teknologioille kuitenkin on se, että niiden toimintaa ja sitä kautta hyötysuhdetta on saatu merkittävästi parannettua viime vuosina.

Lukuisista aurinkopaneeleista koostuvat kokonaisuudet voidaan luokitella joko pientuotannoksi (yksityinen tai kaupallinen) tai teollisen mittakaavan tuotannoksi riippuen järjestelmän kokonaiskapasiteetista. Kapasiteetiltaan yli 500 kW järjestelmiä pidetään teollisen kokoluokan laitoksina.

Asennettujen aurinkopaneelien määrä on kasvanut tasaisesti viime vuosien aikana (Kuva 2-2). Vuonna 2014 Italiassa, Saksassa ja Kreikassa yli 7 % kulutetusta sähköenergiasta tuotettiin aurinkosähköjärjestelmin (SolarPower Europe). Myös aurinkokennotekniikka kehittyy tasaisesti ja teknologiset läpimurrot ovat mahdollisia, mutta niiden ajoittumista on vaikea ennustaa.



Kuva 2-2 A) Maailmanlaajuisesti asennetun aurinkosähkön kumulatiivinen kehitys 2000-2014, alueittain: Eurooppa, Aasian-Tyynenmeren alue (APAC), Pohjois- ja Etelä-Amerikka, Lähi-Itä ja Afrikka (MEA) sekä muu mailma (RoW). B) Euroopassa asennetun aurinkosähkön kumulatiivinen kehitys 2000-2014, maittain. (Kuva: SolarPower Europe)

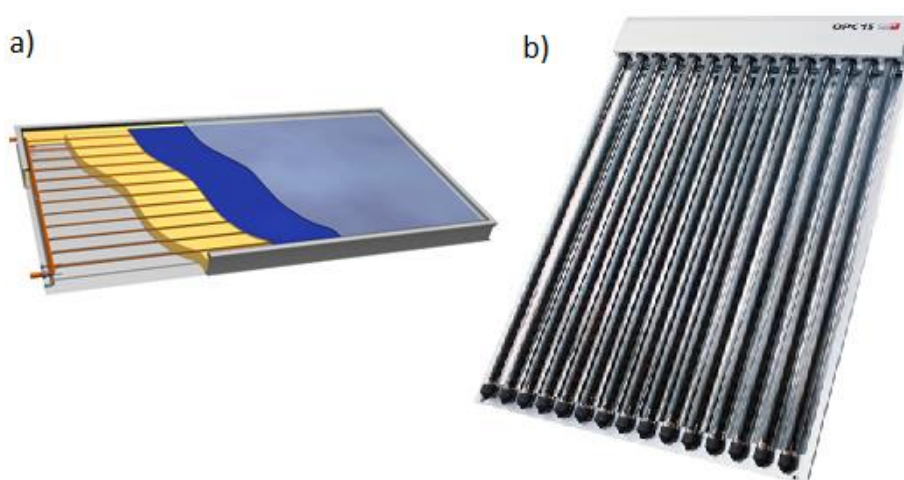
2.1.2 Aurinkolämpö ja aurinkokaukolämpö

Auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää sähköntuotannon lisäksi myös aurinkolämmön tai aurinkokaukolämmön tuotantoon. Aurinkolämpöä voidaan käyttää veden ja tilojen lämmitykseen, höyryn tuotantoon ja jäähdytykseen. Aurinkolämpöjärjestelmässä auringon säteilyenergiaa otetaan talteen aurinkokeräinten avulla ja siirretään käyttökohteeseen järjestelmässä kiertävällä nesteellä. Lämpöä voidaan myös varastoida varajaan myöhempää käyttöä varten.

Kaksi yleisintä keräintyyppiä ovat taso- ja tyhjiöputkikeräin. Tasokeräimessä kiertää jätymätön neste, esimerkiksi vesi-glykoliseos, joka siirtää lämmön keräimiltä varajaan

tai lämmönsiirtimelle. U-putki -tyyppisellä tyhjiökeräimellä on sama toimintaperiaate, kun taas lämpöputki-tyyppisessä (*heat pipe*) tyhjiökeräimessä neste höyrystyy ja siirtää lämmön putken alapäässä olevan lämmönsiirtimen ja jakotukin kautta kiertopiiriin.

Tasokeräin on Euroopassa yleisempi kuin tyhjiöputkikeräin, etenkin suurissa järjestelmissä. Tyhjiöputkikeräimiä käytetään puolestaan paljon erityisesti Kiinassa, josta niitä tuodaan myös Eurooppaan. Tasokeräin on edullisempi, mutta hyötysuhteeltaan jonkin verran tyhjiöputkikeräintä heikompi. Tasokeräimet ovat yksinkertaisia ja erittäin toimintavarmoja, kun taas tyhjiöputkikeräimissä on hiukan suurempi rikkoontumisriski ja enemmän halpatuonnista johtuvia laatuvariaatioita. Tyhjiöputkikeräin pystyy hyödyntämään hajasäteilyä jossain määrin tasokeräintä tehokkaammin. Tasokeräimen tyypillinen toimintalämpötila on 30 – 70 °C ja tyhjiöputkikeräimen 70 – 120 °C. Tyhjiöputkikeräimen etuna on, että sen lämpöhäviöt ovat tasokeräintä pienemmät, joten se soveltuu siltä osin paremmin toimimaan korkeammassa lämpötilassa paikassa, jossa ympäristön lämpötila on alhainen.



Kuva 2-3 Tyypillisen tasokeräimen rakenne (Wagner Euro L20AR) ja tyypillinen tyhjiöputkikeräin (OPC 15 -tyhjiöputkikeräin).

2.1.3 Keskittävä aurinkovoima (CSP)

Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää korkeammassa lämpötilassa sähköntuotantoon aurinkovoimalaitoksessa niin kutsuttujen keskittävien ratkaisuiden avulla (CSP, *Concentrated Solar Power*). Esimerkkejä keskittävästä aurinkovoimasta ovat paraboliset peilit ja keskittävät tasopeilit, jotka lämmittävät peilijärjestelmän polttopisteessä olevaa kattilaa tai lämmönsiirtoputkea, jossa lämmennyt nestettä voidaan hyödyntää esimerkiksi sähköntuotantoon höyrygeneraattorin avulla tai stirling-moottoreilla. Tällaiset järjestelmät vaativat kuitenkin runsaasti suoraa auringonsäteilyä ja soveltuvat nykyteknologialla siksi heikommin Suomeen. Keskittävää aurinkovoimaa ei tästä syystä tarkastella laajemmin tässä selvityksessä.

2.1.4 Tyypillisten aurinkopaneelien ja aurinkokeräinten teknisiä ominaisuuksia

Teollisen kokoluokan aurinkopuistoissa ulkomailla on pääasiassa hyödynnetty perinteistä, myös pientuotannossa käytettävää aurinkopaneeliteknologiaa.

Esimerkiksi CanadianSolar -valmistajan CS6P-P -paneeleita, jotka koostuvat kuudestakymmenestä kennosta ja ovat yksikkökapasiteetiltaan noin 260 W, on hyödynnetty monissa maissa ja erikokoisissa aurinkopuistoissa. FirstSolarin kadmium-

telluuri (CdTe) -ohutkalvopaneeleja sekä SunPowerin Oasis-paneelijärjestelmiä puolestaan on hyödynnetty maailman suurimpiin lukeutuvissa aurinkopuistoissa.

Aurinkopaneelien kehitys tulevaisuudessa liittyyneen ennen kaikkea materiaaleihin (hintaa, saatavuus, johtavuus, keveys, joustavuus, läpinäkyvyys/ulkonäkö) sekä kennojen ominaisuuksiin ja hyötysuhteeseen. Suurta kasvua paneelikohtaisessa kapasiteetissa tai paneelien mittasuhteissa (pinta-ala) ei ole odotettavissa. Materiaalien kehitys voi vaikuttaa paneelien ulkonäköön ja väriin, ja läpinäkyvien kennoratkaisujen tuottavuuden parantuminen puolestaan tarjoaisi mahdollisuuden älykkäille ikkuna- ja julkisivuratkaisuille.

Taulukko 2-1 Esimerkkejä tyypillisten aurinkopaneelien ja –keräinten teknisistä ominaisuuksista.

	Aurinkopaneeli	Tasokeräin	Tyhjiöputkikeräin
Esimerkin malli	Risen RSM-60-6-260P	Apricus FPC-A26	OPC 15
Pituus (cm)	164,0	198,1	170,0
Leveys (cm)	99,2	122,2	125,0
Pinta-ala (m ²)	1,6	2,4	2,1
Paksuus (cm)	4,0	8,0	9,7
Paino (kg)	19,5	38,5	45,0
Huipputeho (sähkö, W)	260	-	-
Huipputeho (lämpö, W)	-	1706	1416
Hyötysuhde, sähkö	0,160	-	-
Hyötysuhde, lämpö (eta0)	-	0,78	0,755

2.2 Tilantarve ja vaadittava infrastruktuuri

2.2.1 Aurinkoenergian tuotannon tilantarve

Aurinkoenergian tuotantoalueen sijoittelussa on otettava huomioon tavoiteltavan tuotannon vaatima säteily määrä ja pinta-ala, sekä aurinkosähkön tapauksessa myös liittymiskapasiteetiltaan soveltuvan verkkoliityntäpisteen läheisyys kustannusten kohtuullistamiseksi.

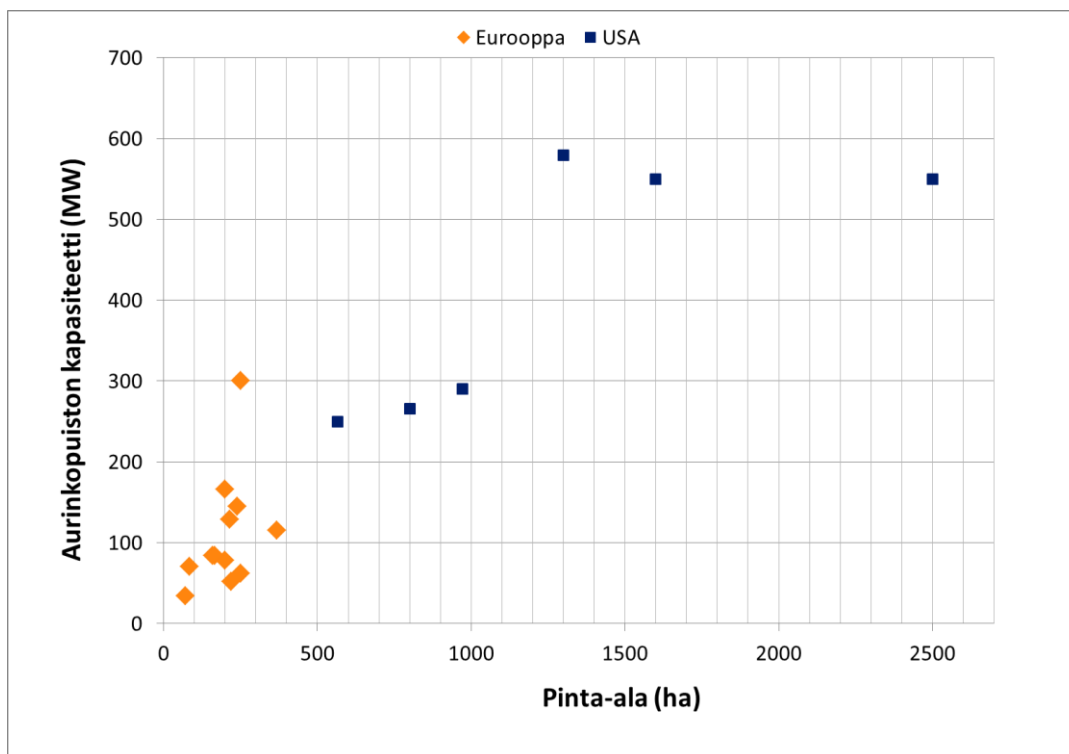
Aurinkosähkön tuotantolaitos, joka on kapasiteetiltaan noin 1 MW, tarvitsee tyypillisesti noin 1,5-3 hehtaarin tilan aurinkopaneeleille, riippuen muun muassa maastonmuodoista sekä paneelien ryhmittelystä. Tarvittavassa pinta-alassa on huomioitava paneelin koon lisäksi riittävä tila huoltotoimille, paneelien asennuskulma sekä paneelirivistöjen välisen varjostusvaikutuksen minimointi. Tyypillinen yhden paneelin koko on noin 1m x 1,5 m, tuotannon optimoiva asennuskulma on 25-45° ja paneelirivistön suuntaus tulisi olla etelään (± 25° itä-länsisuuntaan).

Tuulivoimaan verrattuna aurinkoenergia vaatii vähemmän pinta-alaa vastaavan kapasiteetin ja tuotannon saavuttamiseksi. Maakunnallisesti merkittävän kokoluokan tuulipuisto on noin 30 MW, mikä vaatii noin 300 ha alueen riippuen voimaloiden sijoittelusta. Kyseisen kokoluokan tuulipuiston vuosituotanto on olosuhteista ja teknologiasta riippuen suuruusluokkaa 100 GWh/a. Vastaavan tuotannon saavuttamiseksi aurinkosähkön tuotantoalueen pinta-alan tulisi olla noin 110-200 ha.

Viime vuosina rakennetut teollisen kokoluokan aurinkosähkön tuotantolaitokset ulkomailla ovat laajoja alueita hyödyntäviä aurinkopuistoja. Euroopasta löytyy lukuisia esimerkkejä aurinkopuistoista, jotka ovat pinta-alaluokassa 150-400 ha ja kapasiteetiltaan 50-200 MW. Esimerkiksi suurin aurinkokaukolämmön tuotantolaitos

Tanskassa puolestaan on 14 ha ja teholtaan 49 MW. Useimmat suurista aurinkopuistoista ovat aiemmin käytössä olleita ns. *brown field* -alueita, esimerkiksi entisiä armeijan lentotukikohtia tai kaivosalueita.

Euroopan kapasiteetiltaan suurin aurinkopuisto, *Cestas*, 300 MW, vihittiin käyttöön Ranskan Bordeaux'ssa 1.12.2015 ja se kattaa 250 ha alueen. Tilankäyttö kapasiteettiyksikköä kohden on jo verrattain vähäinen, 0.83 ha/MW. Maailman suurin aurinkopuisto puolestaan sijaitsee Kaliforniassa. *Solar Star*, 579 MW, on rakennettu vaiheittain, ja alueen vuonna 2015 saavutettu kokonaislaajuus on 1300 ha.



Kuva 2-4 Teollisen kokoluokan aurinkopuistoja (PV) Euroopassa ja Yhdysvalloissa: puiston kapasiteetti (MW) vs. tuotantoalueen pinta-ala (ha). Tiedot on kerätty julkisista lähteistä.

Teollisen kokoluokan aurinkopuistojen rakentamisen ohjaus ulkomailla tähtää yleisesti siihen, että hyödynnetään aiemmin intensiivisessä käytössä olleita alueita, kuten armeijan käytössä olleita alueita tai entisiä kaivos-, maatalous tai turvetuotantoalueita. Myös moottoriteiden ja rautateiden varsiston hyödyntämiseen ohjataan. Voimajohtokäytävien hyödyntämisestä aurinkoenergian tuotantoalueina on vähemmän kokemusta. Suomessa voimajohtokäytävillä rakentaminen on rajoitettua, mutta mahdollista. Toistaiseksi arviointi tehdään tapauskohtaisesti, eikä Fingrid ole vielä tehnyt asiasta yleistä linjausta¹.

¹ Yhteydenpito Fingridin ja Pöyryn välillä, 1-2/2016.

2.2.2 Sähköjärjestelmä ja verkkoonliityntä

Suuren kokoluokan aurinkosähkön tuotantolaitokset koostuvat tyypillisesti seuraavista osista:

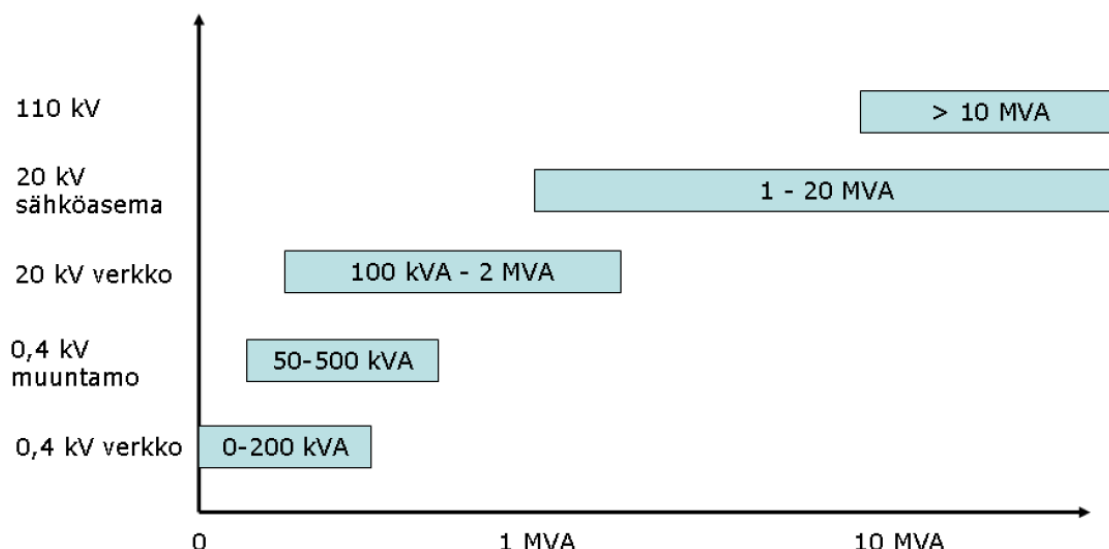
- yhteen kytketyt aurinkopaneeliryhmät
- tasajännitteen vaihtojännitteeksi muuttavat invertterit, jotka ovat aurinkopaneeliryhmäkohtaisia
- aurinkopaneeliryhmien tuottaman vaihtosähkön keskijännitteiseksi muuttavat jakelumuuntajat.

Yhteen aurinkopaneeliryhmään voidaan liittää tuotantolaitoksen koosta riippuen aurinkopaneeleita aina yhteen megawattiin asti, mikä vastaa noin 2800 yksittäistä aurinkopaneelia. Aurinkopaneeliryhmien määrään kuitenkin vaikuttaa tuotantolaitoksen kokonaiskapasiteetin lisäksi aurinkopaneelien sijoittuminen voimalaitosalueelle.

Mikäli aurinkoenergian tuotantolaitos koostuu useammasta paneeliryhmästä, voidaan alueelle asentaa lisäksi keskijännitekojeistorakennus tai keskijännitekaapelijakokaappeja, joiden kautta ryhmien tuottama sähköteho voidaan siirtää jaetulla keskijännitejohdolla tai keskijännitemaakaapelilla liittymispisteeseen. Mikäli kyseessä on yli 10-15 MW:n kokonaisuus, voidaan verkkoliityntää varten joutua rakentamaan lisäksi muuntoasema, jossa voimalaitoksen tuottama sähköteho muunnetaan suurjännitteiseksi 110 kV:n suurjänniteverkkoon liittymisen mahdollistamiseksi.

Aurinkosähkön tuotantolaitosten liityntätapa yleiseen sähköverkkoon riippuu voimalaitoksen teholuokasta. Tyypillisesti sähköverkkojen pienjännitteiset verkko-osat ovat sähköisesti heikkoja (pieni oikosulkutehotaso), jolloin niihin ei voida liittää paljon tuotantoa vaikuttamatta liittymisverkon sähkön laatuun. Lisäksi tuotannon liittäminen ei saa johtaa verkon komponenttien mitoitusvirta-arvojen ylittymiseen (käyttö- ja vikavirtatasot), mikä rajoittaa aurinkosähkötuoannon lisäämistä erityisesti paikallisiin pienjänniteverkkoihin.

Energiateollisuus ry on antanut ohjeelliset tuotannon liittämisrajat eri jänniteportaisiin, joita voidaan pitää suuntaa-antavina tehorajoina eri verkon osiin liittymiselle myös aurinkosähkölle (Kuva 2-5). Yleisesti voidaan todeta, että muutamaa sataa kilovoltiampeeria (kVA) suuremmat aurinkosähkövoimalaitokset on liitettävä kiinteistöjen pienjänniteverkkojen sijaan kokonaistehosta riippuen joko 20 kV:n haarajohtoihin tai 20 kV:n sähköasemaan, ja yli 10-15 MVA:n voimalaitokset joudutaan tapauskohtaisesti liittämään 110 kV:n suurjänniteverkkoon.



Kuva 2-5. Energiateollisuus ry:n julkaisemat ohjeelliset tuotannon liittämiskapasiteetit jakeluverkon eri jänniteportaisiin (Energiateollisuus ry 2011).

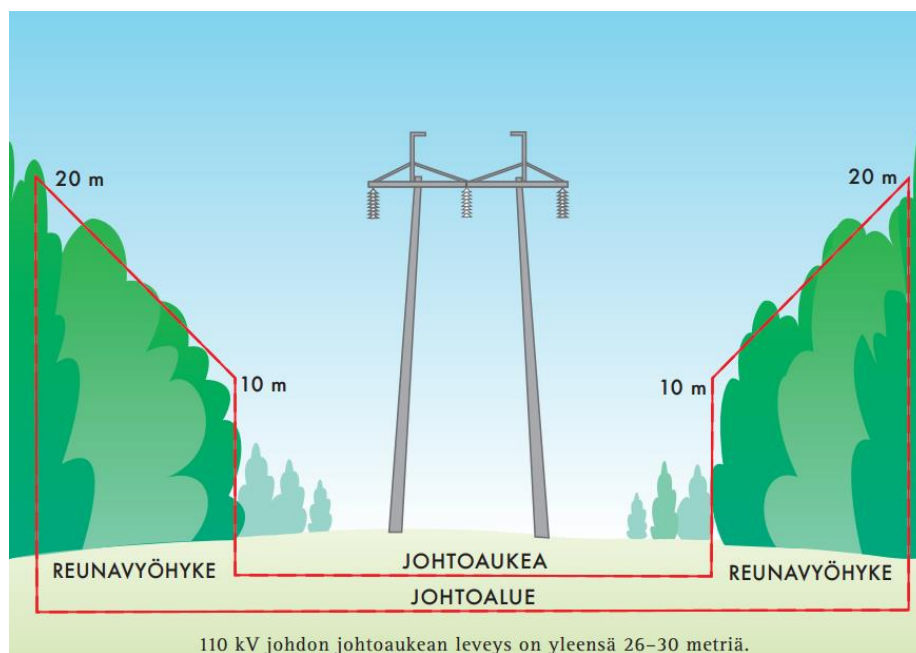
Konsultin esitys aurinkoenergian tuotantolaitosten verkkoliittymän suuntaa-antavista periaatteista:

- Noin 0,1-2 MW tuotantolaitokset voidaan tapauskohtaisesti liittää 20 kV verkkoon tai haarajohtoihin.
- 2-15 MW tuotantolaitokset voidaan tapauskohtaisesti liittää 20 kV sähköasemaan.
- Noin 10-15 MW tuotantolaitokset voidaan tapauskohtaisesti liittää joko 20 kV:n sähköasemaan tai 110 kV:n suurjänniteverkkoon. Verrattuna keskijännitteeseen liittymään, liittyminen 110 kV:n verkkoon olisi kalliimpi ratkaisu ja nostaisi aurinkosähkön €/MWh -tuotantokustannusta noin 10 %. Tämä johtuu mm. 110 kV suurjänniteverkon tyypillisesti korkeammasta liittymismaksusta sekä liittymään tarvittavista 110 kV kytkinlaitteistoista. Mikäli liityntä on teknisesti mahdollinen, kannattaa 10-15 MW tuotantolaitokset liittää keskijänniteverkon sähköasemaan.
- Mikäli liityntä keskijänniteverkkoon on 10-15 MW tuotantolaitokselle teknisesti mahdollinen, on tuotantolaitoksen teknistaloudellisesti järkevä maksimietäisyys liittymispisteeseen noin 10-15 km. Tällöin voimalaitoksen teho voidaan siirtää tuotantolaitokselta liittymispisteeseen yhdellä keskijännitemaakaapelilla.
- Yli 15 MW tuotantolaitokset on lähtökohtaisesti liitettävä 110 kV:n verkkoon. Noin 15-25 MW kokoluokan laitokset, jotka liitetään 110 kV suurjänniteverkkoon, on suositeltavaa rakennuttaa mahdollisimman lähelle liittymispistettä, jotta liittymistä varten ei tarvitsisi rakentaa erillistä 110 kV liittymisilmajohtoa.
- Noin kokoluokkaa 50 MW olevilla tuotantolaitoksilla 110 kV liittymisjohdon rakennuttaminen nostaa tuotantokustannusta prosentuaalisesti huomattavasti vähemmän kuin pienempien tuotantolaitosten tapauksessa. Noin 50 MW tuotantolaitoksen teknistaloudellisesti kohtuullinen maksimietäisyys liittymispisteeseen on noin 15 kilometriä.
- Kokoluokkaa 100 MW olevilla tuotantolaitoksilla liittymisjohdon pituuden kasvattaminen vaikuttaa tuotantokustannukseen vain marginaalisesti. Tämänkokoiset tuotantolaitokset olisivatkin teoriassa mahdollista liittää jopa 30 km päähän.

Verkko-osien todelliset liittymistehokapasiteetit ovat kuitenkin tapauskohtaisia, ja ne on aina varmistettava verkonhaltijalta.

2.2.2.1 110 kV voimajohto

Yli 15 MW:n tuotantolaitokset on lähtökohtaisesti liitettävä 110 kV:n suurjänniteverkkoon. Tällöin liittytää varten voidaan joutua rakentamaan uusi 110 kV:n voimajohto sähkön siirtämiseksi tuotantolaitoksen muuntoasemalta liittymispisteeseen. Tyypillinen 110 kV:n ilmajohto koostuu noin 250 metrin välein asennettavista harustetuista portaalipylväistä, joiden korkeus on noin 16-18 metriä, sekä johtimista joita nämä pylväät kannattelevat. Tyypillinen 110 kV:n ilmajohto vaatii noin 26–30 metriä leveän johtoauean, kun se rakennetaan uuteen johtokäytävään. Lisäksi johtoauea vaatii molemmin puolin kymmenen metrin reunavyöhykkeet, joissa puuston kasvua on rajoitettu (Kuva 2-6).



Kuva 2-6 Tyypillisen 110 kV:n ilmajohdon sivuleikkaus. Johtoauea on tyypillisesti noin 26-30 metriä leveä, minkä lisäksi johtoauean molemmin puolin rajoitetaan puuston kasvua 10 metrin alueella. (Kuva: Fingrid Oyj, Reunapuiden käsittely voimajohtoalueilla).

2.2.3 Perusratkaisut

Aurinkopaneelit voidaan asentaa joko katolle, rakennuksen julkisivuun, maahan tai kelluville perustoille. Myös tiealueiden kattaminen aurinkopaneeleilla on teknisesti mahdollista.

Maaperusteiset paneelit vaativat alleen paalut, tukipilarit tai jalustan, joiden mallin valinta riippuu alustan geoteknisistä ominaisuuksista ja maaperän laadusta. Maanvaraisten perustusten koko mitoitetaan yleensä tuulikuorman aiheuttaman kaatavan momentin perusteella. Tukirakenteena paalut voidaan upottaa maahan ja pilarit istuttaa betonilaattaan. On myös mahdollista hyödyntää painotettua betoni- tai teräspäristusta (*ballast foundation*), joka ei vaadi maapohjan läpäisemistä. Pehmeiden maakerrosten alueella voidaan tarvita massanvaihtojen tekemistä parantamaan pohjamaan kantavuutta ja estämään painumia.

Suomen olosuhteissa maapohja on yleensä routivaa, joten perustusten routiminen on estettävä routaeristeellä, ellei perustustasoa uloteta routimattomaan syvyyteen. Kylmien rakenteiden routimaton perustussyvyys on Etelä-Suomessa noin 2 metriä, kun mitoitusperusteena on lumeton maa ja 50 vuoden käyttöikävaatimus.

Suuret aurinkopaneelikokonaisuudet, teollisen kokoluokan aurinkopuistot, ovat tyypillisesti maaperusteisia.

Maaperustusratkaisulla voi olla vaikutus alueen vedenkiertoon. Kun maanpintaa ei päällystetä, ja aurinkopaneelit sijoitetaan irti maasta, hulevesien, eli sade- ja sulamisveden, takia ei tarvita erikoisjärjestelyjä.



Kuva 2-7 Esimerkkejä erilaisista aurinkopaneelien maanvaraisista perustuksista. (Kuvat 1-3: Colourbox. Kuva 4 (oikealla alhaalla): Keravan Energia)

Esimerkkejä vesialueille perustetuista aurinkoenergian tuotantoalueista löytyy mm. Japanista ja Englannista. Tyypillisesti hyödynnetään patoaltaan tai tekojärven selkeärajaista vesialuetta, mutta myös esimerkiksi tulvamaa on hyödynnettävissä kelluvalla perustusratkaisulla. Kelluvan perustuksen ympäristövaikutukset voivat jäädä maaperustuksia pienemmiksi, koska niiden yhteydessä ei vaadita kaivauksia. Lisäksi ne voivat esimerkiksi kastelualtaan yhteydessä suojata allasta liialta haihtumiselta ja patopengertä puolestaan eroosiolta estämällä aallokoitumista. Kelluvia aurinkosähkön tuotantolaitoksia on myös menestyksekkäästi rakennettu alueille, joilla talvisin muodostuu jäätä, mm. Etelä-Koreassa ja Yhdysvalloissa.



Kuva 2-8 Esimerkkejä kelluville perustuksille asennetuista aurinkopaneeleista. (Kuvat: Ciel&Terre)

Tiealuetta voi hyödyntää aurinkosähkön tuottamiseen joko kattamalla tie aurinkopaneeleilla tai päällystämällä tienpinta aurinkopaneelipäällysteellä. Aurinkopaneelipäällyste on teknisesti toteutettavissa, ja sitä on kokeiltu mm. Alankomaissa. Tammikuussa 2016 uutisoitiin, että Ranskan hallitus on hyväksynyt suunnitelman päällystää noin 1000 km tiepintaa seuraavan viiden vuoden aikana (ScienceAlert, 2016). Niin kutsuttu Wattway -teknologia, jota Ranskankin hankkeessa aiotaan hyödyntää, mahdollistaa 7 mm paksun aurinkopaneelipäällysteen lisäämisen tienpintaan ilman muutoksia alkuperäisessä päällysteessä. Wattwayn mukaan paneelit kestävät erilaisia säätiloja ja mukautuvat ympäristön lämpötilaan samoin kuin varsinainen tie. Tienpäällyspaneelien hyötysuhteeksi on raportoitu 15 %. Suomessa raskaat avaruskalustot sekä nastarenkaat tuovat haasteita tienpäällyspaneelien käyttöönnotolle.



Kuva 2-9 Tien päällystäminen aurinkopaneelilla. (Kuva: Wattway)

2.2.4 Varastointi

Aurinkoenergialla tuotetun sähkön varastointi on tarpeen erityisesti verkkoon kytkemättömien pientuotantojärjestelmien yhteydessä, mutta tulevaisuudessa aurinkosähkön yleistyessä ja tuotantokapasiteetin lisääntyessä sähkön varastointia tarvitaan myös tasaamaan sähköntuotannon ja -kulutuksen välistä eroa eri vuorokauden- ja vuodenaikoina.

Energian varastointitekniologiat voidaan kategorisoida sähkökemiallisiin järjestelmiin, joita perinteiset akut edustavat, sekä lisäksi sähköisiin, kemiallisiin, mekaanisiin ja termisiin järjestelmiin.

Sähkökemiallisia järjestelmiä aurinkosähkön varastointiin edustavat akut, joita käytetään yleisesti osana esimerkiksi omakotitalojen tai kesämökkien aurinkosähköjärjestelmiä. Aurinkosähköakut ovat tyypillisesti lyijy- tai tällä hetkellä nopeasti kehittyviä ja yleistäviä litium-akkuja.

Sähköinen varastointi esimerkiksi superkondensaattorin avulla on lyhytaikaista, ja voisi aurinkosähkön yhteydessä soveltua esimerkiksi pilvisyyden aiheuttaman vaihtelun tasoittamiseen (Pasonen 2012). Kemialliseen varastointiin soveltuu esimerkiksi vety tai synteettinen maakaasu, jota voidaan sitten hyödyntää esimerkiksi polttomoottoreissa tai voimalaitoksissa. Mekaanisia varastointitapoja edustavat vauhtipyörät, paineilmajärjestelmät ja pumpatut vesivarastot. Termisiä varastoja puolestaan ovat lämmin vesi, sulasuola, kivihiili sekä älykäs sähkölämpö.

Verkkoon kytketyissä tuotantolaitoksissa on vielä harvinaista turvautua akkuvärsäntöintiin, sillä sen kustannus on korkea verrattuna siihen, että kompensoinnin tarpeisiin ostettaisiin verkon kautta muualla tuotettua energiaa. World Energy Council (2016) kuitenkin ennustaa, että energian värsäntöintitekniologioiden hinta laskee jopa 70 % vuoteen 2030 mennessä.

Yksi esimerkki sähkönsä värsäntöintiratkaisun hyödyntämisestä tuuli- ja aurinkopuiston yhteydessä on Kiinan Zhangbein *National Wind and Solar Energy Storage and Transmission Project*, joka aloitti toimintansa vuonna 2011. Projektissa on 100 MW tuulienergiaa ja 40 MW aurinkosähköä, sekä värsäntöintiin litiumioniakusto, jonka kapasiteetti on noin 20 MW. Kyseessä on Kiinan valtion demohanke, jonka tavoitteena on testata suurten sähkömäärien siirtoverkkoon syöttämisen vakautta ja ennustettavuutta.

Monista maista löytyy esimerkkejä tuulipuistojen yhteydessä hyödynnettävistä akkujärjestelmistä, mutta laajoissa aurinkopuistoissa tuotetun energian värsäntöinnistä löytyy toistaiseksi vain lähinnä testi- ja tutkimuskäyttöön asennettuja esimerkkejä. Myös termistä värsäntöintia hyödynnetään vasta vähän; Yhdysvalloissa ensimmäinen termistä värsäntöintia sulasuolan muodossa hyödyntävä laitos on keskittävän aurinkovoiman 280 MW tuotantolaitos (*Solana*) Arizonassa. Sen värsäntöintikapasiteetti vastaa voimalaitoksen noin 6 h:n tuotantoa.

Teollisen kokoluokan aurinkoenergiajärjestelmille tulevaisuudessa mahdollinen värsäntöintimuoto on paineilmaan perustuva CAES (*Compressed Air Energy Storage*), joka on vielä kehitysvaiheessa.

Toinen esimerkki tulevaisuuden värsäntöintimenetelmästä on suomalaisen startup-yrityksen kehittämä Teraloop-tekniikka, joka perustuu vauhtipyörän ja maglev-junasta tutun tekniikan yhdistelmään. Sähkö värsäntöituisi rinkulan mallisen putken sisällä magneettien varassa liikkuvien vaunujen liike-energiaksi, joka olisi muunnettavissa takaisin sähköksi. Täysikokoinen Teraloop-energiavarasto toimisi 500 MW teholla, ja sen värsäntöintikapasiteetti olisi 16 GWh. Tällä hetkellä kehitystyö on prototyypin rakennusvaiheessa.

2.2.5 Aurinkolämmön siirto

Keskitetty aurinkolämmön tuotanto voidaan rinnastaa muihin kaukolämmön tuotantoyksiköihin. Lähtökohtaisesti siis aurinkokeräimillä tuotetaan kaukolämmön menolinjan lämpöistä vettä, ja aurinkokeräinjärjestelmä kytketään kaukolämpöjärjestelmään kuten muutkin lämmön tuotantolaitokset. Aurinkokeräimet erotetaan kaukolämpöverkosta lämmönsiirtimellä, jonka kautta kaukolämpövättä kierrätetään kaukolämpöpumpuilla. Kaukolämpöverkot on rakennettu siten, että tuotantolaitosten lähellä siirtojohdot ovat suurimpia ja kaukana tuotantolaitoksista pieniä. Suuremmalla putkella saadaan siirrettyä suurempi lämpöteho.

Mikäli uutta tuotantolaitosta ei sijoiteta olemassa olevien runkojohtojen varrelle, joudutaan investoimaan uusiin siirtojohtoihin siten, että uuden tuotantolaitoksen teho saadaan jaettua. Tämän takia uuden tuotantolaitoksen sijainnilla on suuri merkitys lämmönsiirron vaatimiin investointeihin. Lähtökohtaisesti uuden tuotantolaitoksen tulisi investoida kaukolämpöverkkoon siten, että tuotettu lämpö saadaan siirrettyä verkkoon. Investointi voidaan toteuttaa liittymismaksulla kaukolämpöverkosta vastaavalle yhtiölle.

2.2.6 Tie- ja muu infrastruktuuri

Sekä aurinkosähkö- että aurinkolämpölaitosten sijoittelussa pitää ottaa riittävän sähkö- tai kaukolämpöverkon lisäksi huomioon myös olemassa olevan tiestön läheisyys. Aurinkoenergian tuotantolaitokselle on rakennettava tieyhteys, joten olemassa olevan tieverkon läheisyys pienentää tieinfrastruktuurikustannuksia huomattavasti.

Aurinkoenergian tuotantoalueet eivät vaadi vesi- tai viemärijohtoa, tai asfaltointia.

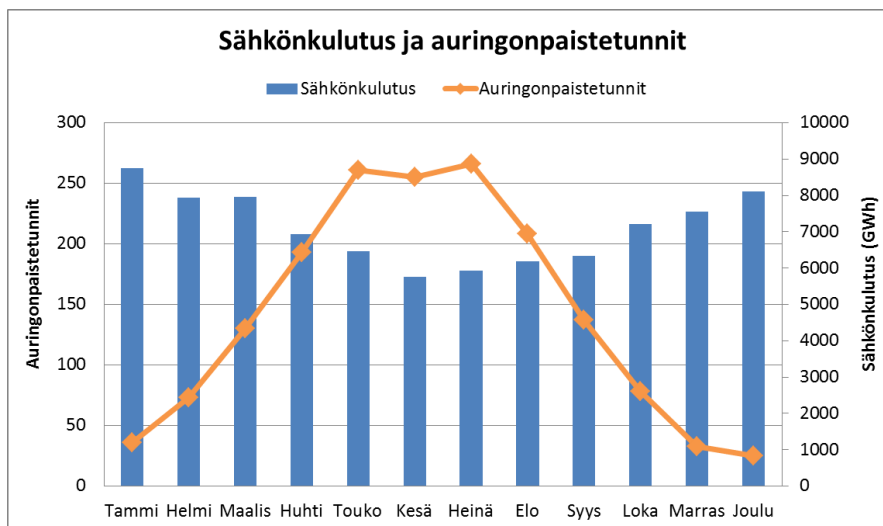
2.3 Taloudelliset lähtökohdat

2.3.1 Olosuhteet Suomessa

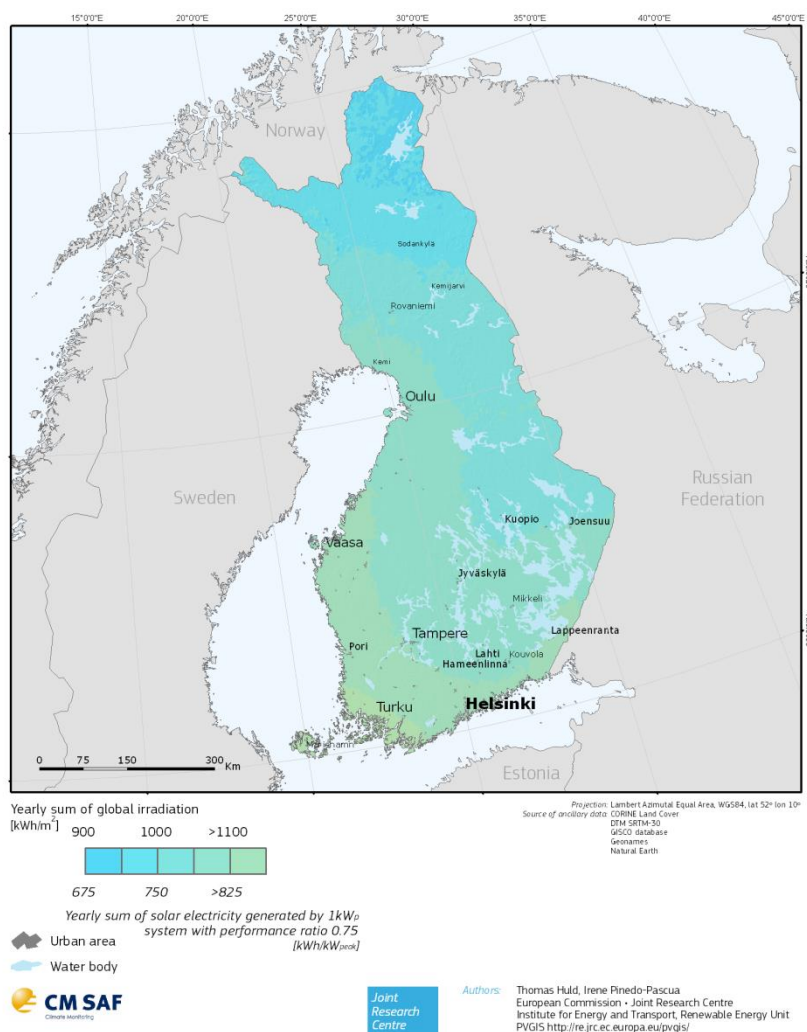
Aurinkoenergian tuotanto riippuu auringonsäteilyn määrästä sekä siitä, kuinka suuri osa säteilystä saadaan hyödynnettyä. Säteilyn osalta eniten vaikuttaa sijainti, pilvisyys sekä mahdollisuus sijoittaa aurinkopaneelit optimaaliseen kulmaan.

Suomen olosuhteita leimaa voimakas vuodenaikaisvaihtelu (Kuva 2-10). Auringonpaistetuntien kuukausittainen määrä vaihtelee Etelä-Suomessa talvikuukausien alle 50 tunnista kesäkuukausien yli 250 tuntiin. Vuosittainen kokonaissäteilymäärä (Kuva 2-11) Etelä-Suomessa on vastaava kuin Saksassa, sillä kesän pitkät valoisat päivät kompensoivat talviajan vähäistä säteilymäärää. Suomen sisällä vuoden kokonaissäteilymäärissä on kohtalaisia eroja tarkasteltaessa eri paikkakuntia: Helsingin leveysasteella saavutetaan vuodesta riippuen noin 1100 kWh/m², Jyväskylän leveydellä noin 950 kWh/m² ja Sodankylässä noin 850 kWh/m².

Koska myös sähkönkulutuksella on voimakas vuodenaikaisvaihtelu, jonka huippu ajoittuu kylmimpiin talvikuukausiin, ei aurinkosähkön ja sen hyödyntämisen tarkastelussa voida nojata vain kohtuulliseen kokonaissäteilymäärään, vaan tuotantopotentiaalin ja kulutuksen kausijakaumia tulee tarkastella rinnakkain.



Kuva 2-10 Kuukausittainen sähkönkulutus ja auringonpaistetunnit. Sähkönkulutustilasto edustaa keskimääräistä kuukausittaista kokonaiskulutusta Suomessa ajanjaksolla 12/2006–11/2015 (Energiateollisuus ry 2015). Auringonpaistetunnit ovat kuukausittaisia keskiarvoja Jokioisten sääaseman 30 v. havaintotilastoista 1981–2010 (Pirinen ym. 2012).



Kuva 2-11 Globaalisäteilyn määrä vuodessa (kWh/m², väriskaalan yläpuolinen asteikko) sekä optimaalisesti asennetuilla aurinkopaneelilla saavutettava vuosituotanto tehoyksikköä kohden (kWh/kW_p, väriskaalan alapuolinen asteikko). (Kartta: Šuri 2007; Huld 2012 / IET)

Aurinkopaneelien tehokkuus sähköntuottajana perustuu siihen, että järjestelmällä saadaan otettua vastaan mahdollisimman paljon säteilyä kallistuskulmaa ja suuntausta säätämällä. Aurinkoa kohti suunnatut paneelit pystyvät siis hyödyntämään suuremman säteilymäärän kuin mitä maahan saapuu vaakatasossa olevaa pinta-alayksikköä kohden. Markkinoilla on sekä kiinteästi suunnattuja, että kallistuskulmaltaan eri tavoin säädettäviä paneeliratkaisuja.

Suomen olosuhteissa tulee kiinnittää erityistä huomiota kylmään ja lumiseen talveen. Lumesta aiheutuvat haitat voidaan minimoida aurinkopaneelien asennuskulman ja -tavan avulla, sekä säännöllisellä lumenpoistolla. Kanadassa tehdyn selvityksen mukaan lumi heikensi maahan asennetun aurinkoenergiajärjestelmän tuotantotehoa vuodessa noin 1–3 % (Andrews ym. 2013). Viileän ilman on puolestaan osoitettu pienentävän sähköistä resistenssiä järjestelmässä ja siten parantavan aurinkopaneelien hyötysuhdetta. Lumen heijastus voi lisäksi lisätä hyödynnettävän hajasäteilyn määrää.



Kuva 2-12 Aurinkopaneeleja lumisissa olosuhteissa. (Kuva: Keravan Energia)

Nestekiertoisten aurinkokeräinten yhteydessä on lisäksi huomioitava pakkasen kestävä kiertonesteen valinta. Lisäksi tulee varautua lumenpoistotoimenpiteisiin, sillä keräinten päälle kertyvä lumi voi paitsi vähentää tuotantoa, myös kasvattaa lumikuormaa katolla sijaitessa.

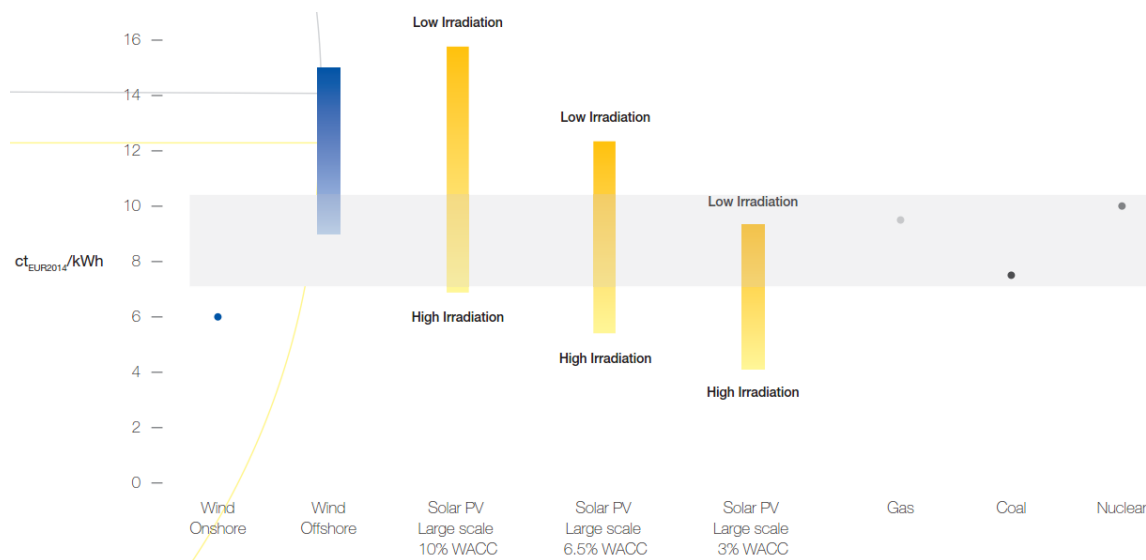
Pöly ja hiekka eivät ole aurinkopaneelien tai -keräinten kannalta ongelma Suomen olosuhteissa. Siitepöly sen sijaan voi vaatia pesutoimenpiteitä osana paneelien kunnossapitoa.

2.3.2 Kannattavuus, nykytilanne ja tulevaisuuden näkymät

Aurinkosähkön tuotantojärjestelmien markkinat ovat kasvaneet globaalisti samalla kun niiden tuotantokustannukset ovat laskeneet noin 75% alle kymmenessä vuodessa. Yli 1 MW aurinkoenergiajärjestelmien hinta on monissa Euroopan maissa jo alle 1 € / W_p (SolarPower Europe). Suomessa vuonna 2014 toteutuneiden aurinkosähköinvestointien

hinnat olivat alimmillaan noin 1,2-1,5 €/W_p (Tahkokorpi 2015). Paitsi paneelien, myös inverttereiden ja esimerkiksi asennustöiden kustannukset ovat laskeneet. Esimerkiksi Saksassa aurinkosähkön tuotantokustannus on laskenut tasolta 40 snt/kWh (2005) tasolle 9 snt/kWh (2014) (Fraunhofer ISE 2015). Pöyryn suuntaa-antava arvio aurinkosähkön tuotantokustannuksesta vuonna 2015 on noin 10.5 snt/kWh.

Muihin energiantuotantomuotoihin verrattuna aurinkosähkön tuottaminen voi olla kilpailukykyistä (Kuva 2-13).



Kuva 2-13 Aurinkosähkön kustannukset (snt/kWh, leveroitu vuoden 2014 hintatasolle) energiayksikköä kohden verrattuna muihin energiantuotantojärjestelmiin (vasemmalta oikealle: maatuulivoima, merituulivoima, teollisen kokoluokan aurinkopaneelit 10 % pääoman tuotto-odotuksella, 6,5 % tuotto-odotuksella ja 3 % tuotto-odotuksella, kaasu, hiili ja ydinvoima). (Kuva: SolarPower Europe)

Aurinkosähkön tuotannon kannattavuus linkittyy vahvasti investointikustannukseen, eli paneelien, inverttereiden, asennuksen, verkkoliittymän ja hankekehityksen kustannuksiin, sekä järjestelmällä saavutettavaan tuotantoon. Aurinkosähköinvestointien taloudellisuus on kuitenkin riippuvaista myös poliittisista toimenpiteistä, kuten tuista, energian verotuksesta, päästökaupasta sekä muiden energialähteiden hintakehityksestä.

Päästökauppajärjestelmän kehityksestä riippuen on mahdollista, että energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat tulevaisuudessa merkittäviä tuotantokustannuksia, mikä nostaa päästöttömien tuotantomuotojen, kuten aurinkoenergian, kilpailukykyä.

Suomessa aurinkosähkö- ja aurinkolämpöhankkeille voi saada investointitukea työ- ja elinkeinoministeriöltä. TEM:n ohjeellinen tukiprosentti hyväksyttävistä kustannuksista on 30 % aurinkosähköhankkeille ja 20 % aurinkolämpöhankkeille, kun kyseessä on yritysten tai julkisten toimijoiden uusiutuvan energian investoinnit (TEM 2015). Sekä aurinkosähkö että aurinkolämpö kuuluvat tukijärjestelmässä ns. tavanomaisten teknologioiden kategoriaan. Lisäksi aurinkoenergia voi olla osa innovatiivista investointia, jonka kustannuksille TEM voi myöntää kokonaisuudessa maksimissaan 40 %:n tuen. Maatilat voivat saada 35 %:n investointituen Maaseutuvirastolta, ja kotitaloudet voivat hakea 45 %:n kotitalousvähennystä aurinkoenergiainvestoinnin työkuluista (Verohallinto 2015).

Taloudellisin ohjauskeinoin voidaan myös vaikuttaa siihen, millaisille alueille aurinkoenergian tuotantolaitoksia toivotaan rakennettavan. Esimerkiksi Saksassa

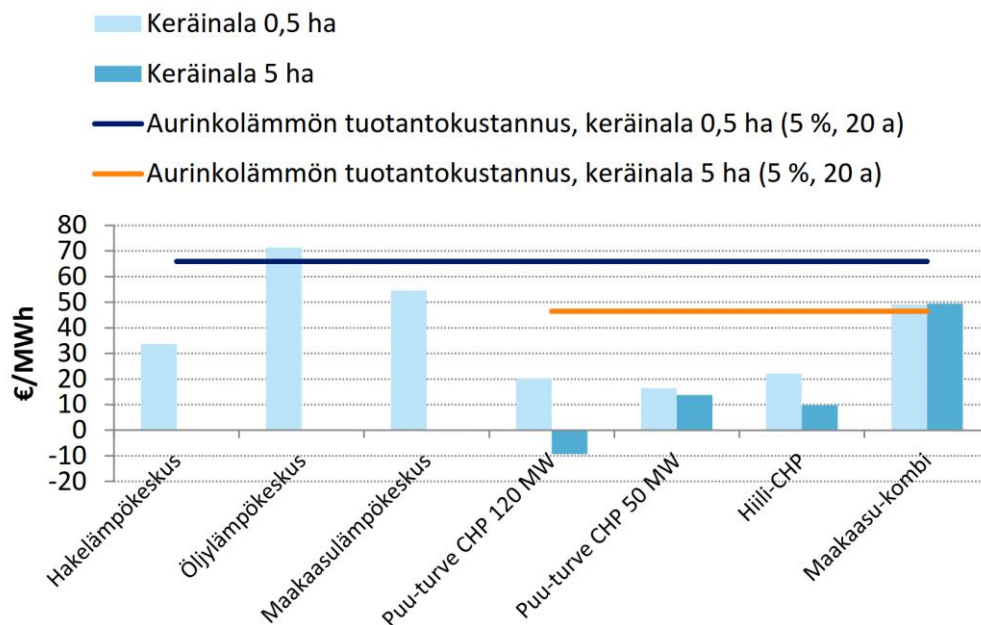
uusiutuvaan energiaan liittyvä laki *Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)* antaa tietäntyyppisille maa-alueille suunnitelluille aurinkopuistoille taloudellisia hyvityksiä. Näiden maa-alueiden ensisijainen kriteeri on ”verrattain alhainen ekologinen merkitys”, ja kyseiseen kategoriaan kuuluvat erityisesti armeijan tai elinkeinokäytössä olleet maa-alueet, ekologista haittaa aiemmin kärsineet maa-alueet, sekä alle 110 metrin päässä moottoritiestä tai rautatiestä olevat maakaistaleet.

Verkkoliittymän osalta hankkeen taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttaa erityisesti soveltuvan liityntäpisteen etäisyys hankealueesta. Keskijännitteisenä (liityntä 20 kV:n verkkoon) teknistaloudellisesti järkevä maksimietäisyys liittymispisteeseen on tapauskohtaisesti noin 15 km, jos puistolla on kohtuullinen tuotanto, jolloin voimalaitoksen teho voidaan siirtää yhdellä keskijännitemaakaapelilla. Suurjännitteisenä, eli 110 kV:n verkkoon liittäessä, kannattava etäisyys riippuu tuotantolaitoksen koosta (lisätietoja kappaleessa 2.2.2): verkkoliittymän kustannuksen vaikutus tuotantokustannuksiin on sitä pienempi, mitä suurempi tuotantolaitos on kyseessä.

Aurinkosähkön tuotantolaitosten käytönaikaiset kustannukset ovat matalat, sillä aurinkopaneeleissa ei juuri ole huoltoa vaativia liikkuvia ja kuluvia osia. Paneelien suorituskykyä ja käyttöikää sen sijaan rajoittaa esimerkiksi liasta, roskista, lämpötilavaihteluista, tuulesta, lumesta ja jäädä aiheutuva ulkoinen mekaaninen rasitus. Tyypillinen takuu-aika on 25 vuotta, mutta todellinen käyttöikä voi olla pidempi.

Energiajärjestelmien todellista energiatehokkuutta arvioitaessa käytetään usein termiä *energian takaisinmaksuaika*. Sillä tarkoitetaan aikaa, jonka voimalaitoksen on oltava toiminnassa ja tuottaa energiaa, kunnes järjestelmän valmistukseen ja ylläpitoon vaadittava energia on kompensoitu. Energian takaisinmaksuaika riippuu mm. valmistukseen tarvittavista raaka-aineista, saavutettavasta tuotannosta, sääolosuhteista ja järjestelmän eliniästä. Aurinkosähköjärjestelmillä kyseisen ajan on arvioitu vaihtelevan 0,75-5 vuoden välillä (Laleman ym. 2011, tässä: Finsolar 2014) ja aurinkolämpöjärjestelmillä 1-3,5 vuoden välillä (Weißbach ym. 2013).

Aurinkolämpöjärjestelmien tuotantokustannus muodostuu pääosin investointikustannuksesta. Keskitetyissä järjestelmissä ja kiinteistöratkaisuissa investoinnin osuus on yli 85 %, ja loppuosa muodostuu muista kiinteistä sekä muuttuvista kustannuksista. Muihin kiinteisiin kuluihin sisältyvät esimerkiksi järjestelmän ylläpitoon liittyvät kulut sekä vakuutukset. Muuttuviin kustannuksiin lasketaan esimerkiksi aurinkopiirin pumppauskustannukset. Muuttuvien kustannusten merkitys tuotantokustannuksiin on hyvin pieni, noin 1 %.



Kuva 2-14 Keskitetyn aurinkolämmön tuotannon rajakustannus eri kaukolämpöjärjestelmissä. (Pöyry, 2013)

3 AURINKOENERGIA SUOMESSA JA SATAKUNNASSA

3.1 Tuotantolaitokset ja tuotanto

Verkkoon liitetty aurinkosähkökapasiteetti Suomessa on arvioidusti noin 11 MW vuoden 2016 alussa, ja raportoidusti noin 8 MW (7866 kW) Energiaviraston kesä-lokakuussa 2015 verkkoyhtiöille teettämän kyselyn mukaan (Energiavirasto 2015). Aurinkosähkön kokonaiskapasiteettiin kuuluu lisäksi myös pieniä tuotantolaitoksia esimerkiksi kesämökkien yhteydessä, sekä yksittäisiä paneeleita, joita ei ole kytketty verkkoon.

Suomen aurinkovoiman tuotantokapasiteetti koostuu lähinnä katoille asennetuista alle 1 MW kokoluokan tuotantolaitoksista, joista suurin osa on kapasiteetiltaan 5-100 kW. Energiaviraston kyselyn tuloksena saatu listaus eri verkkoalueilla olevasta aurinkovoiman tuotantokapasiteetista on esitetty taulukossa (Taulukko 3-1). Kaikesta pientuotannosta, johon lasketaan aurinkovoiman lisäksi mm. tuulivoima, vesivoima, biovoima ja mikro-CHP, aurinkovoiman osuus on kyselyn tulosten mukaan noin 7 %.

Taulukko 3-1 Aurinkovoiman tuotantokapasiteetti verkkoyhtiöittäin (Energiavirasto 2015).

Verkkoyhtiö	Aurinkovoiman tuotantokapasiteetti
	kW
Caruna Oy	2 280
Helen Sähköverkko Oy	820
Lappeenrannan Energiaverkot Oy	547
Oulun Energia Siirto ja Jakelu	505
Vantaan Energia Sähköverkot Oy	374
LE-Sähköverkko Oy	366
Elenia Oy	351
Tampereen Sähköverkko Oy	268
Kymenlaakson Sähköverkko Oy	244
KSS Verkko Oy	187

Suomen ensimmäinen maaperusteinen aurinkoenergian tuotantolaitos on kapasiteetiltaan 250 kWp ja sijaitsee Keravalla (Keravan energia, 2016). Alueelle on asennettu 774 aurinkopaneelia, ja tuotantolaitos on koekäytön jälkeen tuotannossa 1.3.2016 alkaen. Myös Haminan Mäkelänkankaan tuulivoimapuiston yhteyteen rakenteilla oleva aurinkovoimala (725 kW) on maaperusteinen.

Suomessa on suunnitteilla myös isomman kokoluokan maaperusteisia aurinkosähkön tuotantolaitoksia, aurinkopuistoja, joita voidaan pitää harppauksena eteenpäin aurinkoenergia-alalla Suomessa. Suurimmat aurinkoenergiահankkeet ovat suunnitteilla Satakunnan alueelle:

- ENE Solar Systems suunnittelee Lakarin teollisuusalueelle Rauman kaupunkiin noin 20 hehtaarin alueen kattavaa aurinkosähkön tuotantolaitosta. *Solar Park Rauman* kokonaiskapasiteetti olisi 8,7 MW. Tuotantolaitoksen on suunniteltu muodostuvan noin 26 800 aurinkopaneelist, joiden laskennallinen yksikkökapasiteetti olisi noin 0,3 kW. Vuodessa laitos tuottaisi sähköä noin 2 500 omakotitalon tarpeisiin (noin 10.5 GWh/v). Hyödynnettävä alue on hankesuunnittelijan mukaan uuden teollisuusalueen liepeillä.

- Rauman Lakariin on uutisoitu suunniteltavan myös noin 15-20 MW aurinkopuistoa. Hanketta kehittää CPC Germania.
- Samaa kokoluokkaa edustaa myös Nakkilaan suunnitteilla oleva aurinkoenergian tuotantolaitos, joka sijoittuisi pelto-/sualueelle valtatie lähistölle. ENE Solar Systemsin (2015) mukaan Nakkilan tuotantolaitoksen kapasiteetti ja tuotanto olisivat vastaavat kuin Solar Park Rauman tapauksessa.
- Salon kaupungin tiedotteen (2016) mukaan Salo Energia Oy tulee rakentamaan Salon lukion vierestä vuokraamalleen kolmen hehtaarin maa-alueelle aurinkopuiston. Se tuottaisi sähköä ensisijaisesti Salon lukion käyttöön ja toimisi lisäksi vierailu- ja opetuskohteena.

Satakunnassa on lisäksi useita esimerkkejä aurinkoenergiaa jo hyödyntävistä laitoksista. Porin kaupungin (2011) mukaan Porin uimahallissa on sekä aurinkopaneeleja että aurinkokeräimiä. Osa aurinkokeräimistä ja kaikki aurinkopaneelit on sijoitettu uimahallin katolle, ja lisäksi osa aurinkokeräimistä toimii osana uimahallin julkisivua. Aurinkokeräimet tuottavat noin 5 % hallin tarvitsemasta lämmöstä, ja niiden arvioitu vuosituotto on noin 120 000 kWh. Uimahallin aurinkopaneelit puolestaan tuottavat noin 3 % uimahallin tarvitsemasta sähköstä, ja niiden vuosituotanto on noin 45 000 kWh (Motiva Oy 2015). Aurinkosähköä tuotetaan Porissa myös Kiinteistöosakeyhtiö Aurinkopajan 49,5 kW aurinkopaneeleilla (Tahkokorpi & Müller 2015), sekä Porin kaupungin ympäristöviraston katolla olevalla 21 kW aurinkopaneelilla (Ovaskainen 2013). Harjavallassa on Lammaisten Energian rakennuksen katolla noin 25 kW:n aurinkosähköjärjestelmä (Lammaisten Energia 2015), ja ulvilalaisella Satmatic Oy:llä on 30 kW:n aurinkosähköjärjestelmä, jonka laajennusta on suunniteltu (Satmatic Oy 2012).

Suomessa suunnitteilla olevia ja jo toteutettuja yli 300 kW kokoluokan hankkeita ja niiden teknisiä tietoja on koottu taulukkoon (Taulukko 3-2). Taulukossa mainittujen lisäksi 100-200 kW kokoluokan aurinkosähköjärjestelmiä on rakennettu mm. Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Viikin kampuksen yhteyteen, sekä Asikkalassa Polar Spring Oy:n, Vantaalla DB Schenkerin ja Helsingissä ABB Oy:n ja Vaisala Oyj:n toimesta.

Taulukko 3-2 Suomessa rakennettuja tai suunnitteilla olevia yli 300 kW (0,3 MW) aurinkosähkön tuotantolaitoksia. Tiedot perustuvat julkisiin aineistoihin.

Puiston sijainti	Omistaja	Status	Pinta-ala	Teho	Paneeleita	Arvioitu vuosituotanto
			m ²	MW	kpl	MWh
Rauma, Lakari	CPC Germania	suunnitteilla	~350000	15-20	~60000	-
Rauma, Lakari	ENE Solar Systems	suunnitteilla	200000	8,70	26800	10500
Nakkila	ENE Solar Systems	suunnitteilla	200000	8,00	24000	11000
Kristiinankaupunki	ENE Solar Systems	suunnitteilla	200000	8,70	26800	11000
Helsinki, Kivikko	Helen	rakennettu	10000	0,85	2992	750
Hamina, Mäkelänkangas	Suomen Voima Oy	rakenteilla	10000	0,72	2784	680
Oulu, Sanomalehti Kalevan toimitalo	Sanomalehti Kaleva	rakennettu	3200	0,40	1604	-
Espoo, Suvilahti	Helen	rakennettu	3000	0,34	1194	275
Salo	Astrum liikekeskus	rakennettu	4000	0,32	1344	300

3.2 Aurinkoenergiatuotantoon liittyvät tavoitteet

Yleisellä tasolla aurinkoenergiatuotannon suunnitteluun ohjaavat kansalliset ja kunnalliset päästövähennystavoitteet, uusiutuvan energian tavoitteet ja energiaomavaraisuusasteeseen liittyvät tavoitteet.

Suomessa ei ole määritelty aurinkoenergian tuotantomäärille valtakunnallisia tai maakunnallisia määrällisiä tavoitteita. Uusiutuvalla energialle kokonaisuutena on kuitenkin asetettu valtakunnallisia ja maakunnallisia tavoitteita, ja aurinkoenergia on yksi mahdollisuus muiden joukossa, vaikka sille ei olekaan asetettu omia määrällisiä tavoitteita. Aurinkoenergian tuotannon lisääminen tukee Suomen ilmasto- ja energiastrategiassa (TEM 2013) asetettuja tavoitteita hiilidioksidipäästöjen rajoittamisesta sekä uusiutuvan energian osuuden kasvattamisesta.

Kunnissa tavoitteet voivat muotoutua myös pohjautuen Suomen ympäristökeskuksen määrittämiin ns. HINKU-kriteereihin. Niillä tarkoitetaan kuntien *”ilmastonmuutoksen hillintätoimia ja linjauksia, joilla kunta uskottavasti sitoutuu vähentämään oman toimintansa kasvihuonekaasupäästöjä sekä vaikuttamaan alueensa toimijoihin (asukkaat, yritykset, maa- ja metsätalousyrittäjät sekä vapaa-ajan asukkaat) siten, että alueen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä tavoitellaan hiilineutraaliutta”*.

Satakunnan maakuntaohjelmassa 2014–2017 (Satakuntaliitto 2014) todetaan, että aurinkoenergia voi tarjota uusia mahdollisuuksia Satakunnalle. Yhtenä maakuntaohjelman painopisteenä on teollisuuden kasvu ja uusiutuminen ja toimenpiteenä uusiutuvan energian osuuden lisääminen energiantuotannossa. Satakunnan pitkän aikavälin strategisessa suunnitelmassa, maakuntasuunnitelmassa (Satakuntaliitto 2012a) on puolestaan todettu: *”Kehitämme, tuotamme ja käytämme tuuli- ja aurinkovoimaa sekä bioenergiaa.”*

Satakuntaliitto on myös laatinut maakunnan oman ilmasto- ja energiastrategian (Satakuntaliitto 2012b). Sen yksi strategisista tavoitteista on uusiutuvan energian käytön ja tuotannon edistäminen. Strategiassa tunnistetaan bioenergia ja tuulivoima uusiutuvan energian muodoiksi, joiden tuotantoa erityisesti pyritään lisäämään Satakunnassa. Lisäksi strategia linjaa myös yleisemmällä tasolla, että tavoitteena on edistää sellaisten energiamuotojen käyttöä, joiden kasvihuonekaasupäästöt ovat vähäisempiä kuin fossiilisten energiamuotojen. Energiatehokkuuteen liittyen strategiassa kerrotaan, että *”julkisen sektorin uudis- ja korjausrakentamisessa hyödynnetään aurinkoenergiaa rakennusperintöarvot huomioiden”*. Strategian laatimisen yhteydessä tehdyn kyselyn mukaan satakuntalaiset energia-alalla työskentelevät henkilöt odottavat aurinkoenergiatuotannon lisääntyvän Satakunnan alueella vuoteen 2020 mennessä.

4 AURINKOENERGIAN TUOTANTOALUEIDEN HUOMIOINTI MAANKÄYTÖN SUUNNITTELUSSA JA LUPAMENETTELYT

4.1 Suomessa

4.1.1 Lainsäädäntö, kaavoitus ja lupamenettelyt

Aurinkoenergiajärjestelmien lupamenettelyyn ei Suomessa ole olemassa yhtenäistä valtakunnallista ohjeistoa, vaan käytännöistä päätetään kuntakohtaisesti osana rakennuslupasäädäntöä (Motiva 2014).

Osa kunnista edellyttää aurinkoenergiajärjestelmille maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaista maksullista toimenpidelupaa joko aina tai tapauskohtaisesti, kun taas osa kunnista on vapauttanut aurinkosähkön ja/tai -lämmön tuotantolaitokset/-laitteistot velvollisuudesta hakea toimenpidelupaa joko kaikilla kiinteistöillä tai ehdollisesti (esim. määrittäen järjestelmän asennukselle maksimikorkeuden). Myös Keravalla rakennettu ensimmäinen maaperusteinen aurinkosähkön tuotantoalue on toteutettu toimenpideluvalla. Esimerkiksi Vantaalla puolestaan on vapautettu rakennuksen pinnan myötäisesti asennettavat aurinkopaneelit ja -keräimet rakennus- ja toimenpidelupien hakemisesta tavallisella asemakaava-alueella (Vantaan kaupungin rakennusjärjestys, kohta 21a §).

Laajan aurinkoenergian tuotantoalueen rakentaminen, mukaan lukien tuotantolaitoksen tie- ja sähköinfrastruktuuri, on maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) edellytysten alaista. Aurinkosähkölaitoskokonaisuus, mukaan lukien tie- ja maakaapeliverkot sekä mahdollisesti tarvittavat muuntoasemat, voidaan luvittaa rakennuslupamenettelyn kautta. Tiestöä varten voidaan joutua hakemaan myös liittymälupa uuden tieliittymän rakentamiseksi yleisen tien yhteyteen, ja maakaapeleille yleisten teiden läheisyyteen rakennettaessa tulee kaapelille hakea sijoituslupapäätöstä Pirkanmaan ELY-keskuksesta.

Suurempia aurinkosähkölaitoksia varten mahdollisesti rakennettavat 110 kV:n voimajohtojen ympäristövaikutukset tulee selvittää ympäristöselvityksen kautta, minkä lisäksi Energiavirastolta tulee anoa hakelupaa uudelle suurjännitevoimajohtotarpeelle. Jos aurinkosähkölaitokselta jostain syystä edellytetään ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 468/1994) tapauskohtaisen harkinnan kautta, tulee voimajohto todennäköisesti sisällyttää tähän arviointimenettelyyn. Joissakin tapauksissa johdon rakentamista varten voidaan myös joutua anomaan lunastuslupaa voimajohdon tarvitsemalle maa-alueelle valtioneuvostolta tai Maanmittauslaitokselta.

Toisin kuin tuulivoimalle, aurinkoenergian tuotantoalueille ei ole kaavamerkintäkäytäntöä. Maankäyttö- ja rakennuslain mukaisessa kaavoituksessa on kuitenkin nykyisellään mahdollista huomioida aurinkoenergiarakentaminen eri tavoin:

- **Ns. aurinkotonttien asemakaavoituksessa** huomioidaan rakennusten sijoittelu ja kattojen suuntaus (Suunnitteluohje 2014, Oulu);
- **Yleiskaavassa** voidaan esittää aurinkoenergian edistämiseksi räätälöityjä kaavamääräyksiä (esim. Östersundomin alueen yleiskaava)
- **Aurinkoenergian tuotantolaitosta** varten voidaan laatia asemakaava (esim. Rauman Lakariin vireillä oleva asemakaava).

Lisäksi aurinkoenergian käyttöönottoon, tai ainakin sen mahdollistamiseen voidaan velvoittaa maankäyttösopimuksin ja tontinluovutusehdoin (käytössä esim. Turussa Skanssin alueella). Rakennusalueen suunnittelijoita voidaan myös ohjata mahdollistamaan aurinkoenergian hyödyntäminen erilaisilla suunnitteluvaatimuksilla, suosituksilla ja laatutavoitteilla (esimerkkinä Jyväskylän Kankaan *Laatuaapinen* maisemasuunnittelijoille, arkkitehdeille, insinööreille ja valaistussuunnittelijoille).

4.2 Muualla Euroopassa

Euroopan Unionin direktiivi 2009/28/CE edellyttää (Artikla 13, §1(f)), että pienten uusiutuvan energian hankkeiden ja hajautettujen uusiutuvan energian tuotantolaitosten lupamenettelyä yksinkertaistetaan. Tämän perusteella jäsenmaat ovat kehittäneet edellä mainitun direktiivin mukaisia ohjeita lupamenettelyjen virtaviivaistamiseksi ja harmonisoimiseksi.

Tässä esitellään esimerkkejä aurinkosähkön tuotantoon liittyvien hankkeiden kaavoitus- ja lupamenettelystä valituissa esimerkkimaissa.

4.2.1 Saksa

Saksassa EEG, energiahuollon kestävään kehitykseen ja uusiutuvan energian edistämiseen tähtäävä laki, pyrkii edistämään tietäntyyppisten alueiden hyödyntämistä aurinkoenergian tuotantolaitosten sijoittelussa (ks. kappale 2.3.2). Myös kaavoituksen keinoin pyritään ohjaamaan kestävää aurinkoenergiarakentamista. Kaavoituksella pyritään osoittamaan erityisesti sellaisia aurinkoenergiatuotantoon soveltuvia alueita, joita on aiemmin hyödynnetty muussa käytössä.

Maaperusteiset aurinkoenergian tuotantolaitokset ovat kaavoituslain alaisia, ja niiden tulee saada sen mukainen hyväksyntä. Katoille sijoitettaville aurinkoenergian tuotantolaitoksille prosessi on kevyt; niille ei vaadita lainkaan rakennuslupaa. Joissain osavaltioissa, mm. Nordrhein-Westfalenissa, myös maaperusteiset tuotantolaitokset on vapautettu rakennuslupavelvoitteesta.

Aurinkoenergian tuotantolaitosten rakentamiselle relevantteja kaavoituksen periaatteita ja tavoitteita Saksassa:

- Kestävä rakentaminen, jossa huomioidaan maan, veden ja ilman taloudellinen ja huolellinen hyödyntäminen, sekä haittojen minimoiminen;
- Asutusrakenteen kehittäminen siten, että ekologinen, taloudellinen ja sosiaalinen kantokyky tulee huomioiduksi;
- Infrastruktuurin kehittäminen siten, että verkkoonliittymispisteen etäisyys pysyy kohtuullisena;
- Ilmastonsuojelutavoitteiden huomiointi;
- Kulttuurisesti arvokkaiden kohteiden sekä ennallaan säilyttämisen arvoisten kaupunki- tai kyläalueiden suojeleminen.

Alueellisella eli lähinnä kunnallisella tasolla on pyritty helpottamaan aurinkoenergian tuotantolaitosten sijoittelua ja rakentamista mm. selkeällä ohjeistuksella, johon kuuluu esimerkiksi sijoittelukriteeristö ja tarkistuslista, jonka avulla vältetään maankäyttökonfliktit, negatiiviset ympäristövaikutukset ja sosiaaliseen hyväksyttävyyteen liittyvät ongelmat.

Erityisesti laajojen aurinkoenergian tuotantoalueiden rakentamiselle soveltuvien alueiden kysyntä on ollut viime vuosina kasvussa Saksassa. Soveltuvien alueiden vaatimuksiin ja kartoitukseen liittyviä selvityksiä on tehty alueellisella maankäytönsuunnittelun tasolla. Soveltuvien aurinkoenergian tuotantolaitosten kartoitus alueellisella tasolla perustuu mm. seuraaviin periaatteisiin:

- Aurinkoenergian tuotantoalueiksi muunnettavissa olevien alueiden kartoitus (erityisesti entiset armeijan käytössä olleet alueet)
- Aurinkoenergian tuotantoalueiksi potentiaalisten, maanviljelyskäytössä olleiden alueiden kartoitus
- Olemassa olevat ilmajohdot, merkintä varsinainen linja + 3 km vyöhyke
- Sähköasemien sijainti, merkintänä alue 10 km säteellä
- Lintujen kerääntymisalueiden poissulkeminen
- Muussa maankäytössä olevien, mahdollisesti aurinkoenergiarakentamiseen soveltuvien alueiden tunnistus: tuulivoima-alueet, kaatopaikka-alueet

4.2.2 Italia

Italiassa aurinkosähkön tuotantolaitoksia on rakennettu jo pidemmän aikaa, ja maa onkin Euroopassa edelläkävijöitä aurinkoenergian hyödyntämisessä. Vuonna 2014 aurinkosähkön (PV kokonaiskapasiteetti 18,45 GW) tuotanto (309 006 GWh) vastasi jo yli 7,5 % maan sähkönkulutuksesta (IEA 2015).

Italia on harmonisoinut lainsäädäntöään edellä mainitun direktiivin 2009/28/CE mukaiseksi.

Tämänhetkinen säädöstö määrittelee seuraavat kolme menettelyä:

1. Yhdistetty lupamenettely (Autorizzazione Unica, AU)
2. Yksinkertaistettu lupamenettely (Procedura Abilitativa Semplificata, PAS)
3. Ilmoitus kunnalle (Comunicazione al Comune)

Aurinkosähkön tuotantoalueita ei Italiassa määritellä kaavoituksen yhteydessä.

1. Yhdistetty lupamenettely

Asetuksen 387/2003 määrittelemä lupamenettely tietyn tehokynnyksen ylittävälle uusiutuvan energian tuotantoyksiköille. Nämä tehokynnykset vaihtelevat alueittain, ja ovat aurinkosähkölaitoksille 20 kW – 1 MW.

AU myönnetään viranomaiskokouksen (“Conferenza dei Servizi”) päätteksi, ja se on laitoksen rakennus- ja käyttö lupa. AU:ta varten tarvitaan aurinkosähkölaitoksille ympäristövaikutusselvitys jos teho on yli 1 MW. AU:n saamiseen menee 90 päivää, mihin ei sisälly ympäristöselvityksen laadintaan tarvittava aika. AU:n myöntää (hallinnollinen) alue (region) tai tämän määräämä maakunta (province).

2. Yksinkertaistettu lupamenettely

Asetuksen 28/2011 määrittelemä lupamenettely edellä kuvatun yhdistetyn lupamenettelyn (AU) tehokynnysarvon alle jääville uusiutuvan energian

tuotantolaitoksille, ja myös joillekin lämmitykseen ja jäähdytykseen käytettäville polttolaitoksille.

PAS-hakemus on jätettävä kuntaan vähintään 30 päivää ennen rakentamisen aloittamista. Hakemuksen tulee sisältää yksityiskohtainen tekninen kuvaus kaikkein liitteineen, joka vahvistaa että hanke ei ole ristiriidassa kaavan, rakennussäädösten ja terveysturvallisuussäädösten kanssa.

Jos kunta ei 30 päivän sisällä hakemuksen jättämisestä ole ilmoittanut vastustavansa hanketta millään tavalla voi hakemuksen katsoa olevan hyväksytty.

Yksinkertaistettua lupamenettelyä sovelletaan myös rakennusten päälle asennettaviin aurinkosähköjärjestelmiin mikäli nämä ovat pienempiä tai yhtä suuria kuin katon pinta-ala.

3. Ilmoitus kunnalle

Yksinkertaisin menettely jota sovelletaan pieniin sähkön ja lämmön tuotantolaitoksiin. Ilmoitus töiden aloittamisesta johon tulee sisältyä yksityiskohtainen tekninen kuvaus. Yksinkertaistettuun lupamenettelyyn verrattuna ei ole tarpeen odottaa 30 päivää ennen kuin rakennustyöt aloitetaan.

Aurinkosähköjärjestelmien osalta tätä ilmoitusmenettelyä sovelletaan rakennusten katolle asennettaviin tai niihin integroituihin järjestelmiin, joilla on sama kulma kuin katolla, ja joiden koko on pienempi tai yhtä suuri kuin katon pinta-ala. Lisäksi rakennukset eivät voi olla kulttuurihistoriallisesti arvokkaita.

4.2.3 Iso-Britannia

Iso-Britanniassa on laadittu suunnittelu- ja luvitusohjeistus koskemaan kapasiteetiltaan yli 50 kWp tai pinta-alaltaan yli 9 m² olevia maaperusteisia aurinkoenergian tuotantolaitoksia.

YVA-menettelyä sovelletaan tapauskohtaisesti riippuen laitoksen sijainnista, ympäristöstä ja vaikutuksista. Keskeisiä tekijöitä ovat visuaaliset ja maisemavaikutukset sekä näihin liittyvät mahdolliset yhteisvaikutukset muiden hankkeiden kanssa.

Kaavoituksessa aurinkoenergiaa ei huomioida kunta- tai ylemmän tason maankäyttösuunnitelmissa.

Yleisenä ohjeena on annettu periaatteita aurinkoenergian tuotantolaitoksen sijoittelulle: Tulee välttää luonnontilaisia alueita ja käyttää mahdollisuuksien mukaan jo käyttöön otettuja (*brownfield*) alueita. Lisäksi tulisi suosia huonoimpia viljelymaita, sekä välttää arvoalueita ja herkkiä alueita.

Rakennuslupaa haettaessa (*Planning application*) tulee esittää yksityiskohtainen lupahakemus (*Detailed planning application*), ei yleispiirteinen (*Outline planning application*).

4.2.4 Ranska

Verrattuna Saksaan ja Iso-Britanniaan, joissa aurinkoenergian tuotantolaitosten luvitusprosessia on huomattavasti kevennetty, menettely Ranskassa on vaativampi.

Ranskan energialain asetuksen 2009-1414 mukaan maaperusteiset yli 250 kWp tuotantolaitokset tulee huomioida kaupunkisuunnittelussa, ja niille vaaditaan

viranomaissertifikaatti (myöntävä taho: CODOA), ympäristövaikutusten arviointi, YVA-selvityksen nähtäville asettaminen ja yleisön kuuleminen, sekä rakennuslupa. Lisäksi tuotantolaitos tarvitsee verkkoonliityntäluvan verkonhaltijalta (ERDF).

PLU-konsultaatio, mikä viittaa paikalliseen kaupunkiympäristösuunnitteluun, vaaditaan kaiken kokoisille tuotantolaitoksille. Pienimmille hankkeille se on vain hallinnollinen yhteydenotto, mutta isommille hankkeille vaaditaan usein selvitys siitä, kuinka hanke hyödyttää paikallista kuntaa ja sen taloutta (2010 kaavoitusohjeistus, atikkeli L.123).

Paikallinen viranomainen määrittää ympäristövaikutusten arvioinnin suuntaviivat. Vaikutusten arviointiselvityksen valmistuttua se asetetaan nähtäväksi yleisölle, joka voi kommentoida selvityksen havaintoja. Sekä alkuperäinen selvitys että yleisön kommentit vaikuttavat viranomaisten päätöksentekoon, minkä seurauksena hankkeelle voidaan myöntää maankäytön suunnittelulupa. Luvan tulee olla nähtävillä 2 kuukautta, minkä jälkeen hanke voi saada rakennusluvan. Myös rakennusluvalla on kahden kuukauden valitusaika. Valitukset käsitellään hallinto-oikeudessa.

Kattoperusteinen aurinkoenergian tuotantolaitos, joka sijaitsee alle 500 m päässä kaupunkialueen monumenteista, vaatii hyväksynnän, jonka myöntää Architects des bâtiments de France (ABF). Hyväksynnän tai hylkäämisen perusteena on laitoksen visuaalinen vaikutus.

4.2.5 Sveitsi

Kaavoituslaki (*Raumplanungsgesetz, RPG*) ohjaa rakennusten yhteyteen tai maatalousalueille suunniteltujen aurinkoenergian tuotantolaitosten rakentamista. Sen mukaan ”riittävän soveltuvilla”, erityisesti katoille asennettavilla aurinkokennojärjestelmillä ei ole lainkaan rakennuslupavelvoitetta, vaan ilmoitus viranomaiselle riittää. Yksittäisten kantonien laeissa voidaan lisäksi vapauttaa myös isommat ja maaperusteiset aurinkoenergian tuotantolaitokset rakennuslupavelvoitteesta, mikäli ne on suunniteltu ”esteettisesti vähemmän herkälle” alueelle, jossa maisemavaikutus on minimaalinen (RPV, 2016).

Aurinkoenergian tuotantolaitoksen rakentaminen kantoni- tai kansallisella tasolla merkittäviksi määritettyjen kulttuuri- tai luonnonmuistomerkkien läheisyyteen vaatii aina rakennusluvan sekä vaikutustenarvion.

4.2.6 Itävalta

Aurinkoenergian tuotantoalueiden luvituskäytäntö vaihtelee osavaltioittain Itävallassa.

Esimerkiksi Salzburgissa 100-500 kWp tuotantolaitoksilla on vain ilmoitusvelvollisuus, mutta yli 500 kWp tuotantolaitokset vaativat rakennusluvan (Wagner, 2014). Myöntävä taho on osavaltiohallitus. Katoille tai rakennusten yhteyteen jälkeinpäin asennettava, mittakaavavaatimukset ja viheralueiden käyttöön liittyvät ehdot täyttävä pientuotanto ei vaadi mitään lupaa.

Wienin rakennusjärjestys määrittää, että aurinkoenergian tuotantolaitosten rakentaminen viher-, suojelu- ja rakennuskieltoalueiden ulkopuolelle ei vaadi rakennuslupaa eikä rakennusilmoitusta. Rakennusten yhteyteen suunnitellut tuotantolaitokset eivät kuitenkaan saa muuttaa rakennuksen tyyliä, eivätkä häiritä tai haitata ”paikallista kaupunkikuvaa” (Wiener Umweltanwaltschaft 2014).

Yleisesti aurinkoenergian tuotantolaitoksille kokoluokittain pätee seuraavat luvituskäytännöt Wienin alueella: 0-15 kW laitoksista riittää rakennusilmoitus; 15-

50 kW laitoksille pätee yksinkertaistettu lupakäytäntö; yli 50 kW laitoksille on täysi lupaprosessi. Lisäksi tuotantolaitos voi hakea ekoenergiastatusta, mikä vaatii lisälomakkeiden täytön.

Verkkoonliittynnästä tulee aina sopia paikallisen verkkoyhtiön kanssa.

5 AURINKOENERGIAN TUOTANTOALUEIDEN VAIKUTUKSET

5.1 Laajat tuotantoalueet

Sekä aurinkosähkön että aurinkolämmön tuotanto on päästötöntä. Välilliset päästöt ja pääasialliset ympäristövaikutukset aiheutuvat järjestelmien tarvitsemien materiaalien tuotannosta ja paneelien tai keräinten valmistusprosessista. Rakennusvaiheen ja toiminnan aikaiset ympäristövaikutukset ovat vähäisiä, mutta kuten kaikella rakentamisella, myös aurinkoenergian tuotantoalueilla on vaikutusta alueen luonnonoloihin, maisemaan ja ihmisiin.

Tässä selvityksessä esiteltyt vaikutukset pohjautuvat pääasiassa ulkomaisessa tutkimuskirjallisuudessa käsiteltyihin teollisen kokoluokan aurinkoenergian tuotantolaitosten ympäristövaikutuksiin (esim. Hernandez ym., 2013).

5.1.1 Materiaalit ja valmistus

Aurinkopaneelien valmistukseen tarvittavien harvinaisten metallien riittävyys on listattu aurinkoenergian suurimmaksi haasteeksi ekologisuuden osalta (Leskinen ym. 2014). Osa aurinkopaneeleissa käytettävistä metalleista on muiden prosessien sivutuotteita, joita syntyy vain rajoitettu määrä, joten niiden saatavuus tulevaisuudessa ei ole taattua. Toistaiseksi eri aurinkopaneeliteknologioiden käyttämille raaka-aineille ei myöskään juuri ole korvaavia metalleja. Aurinkopaneeleissa nykYTEknologialla käytettäviä materiaaleja ovat mm. kadmium, hopea, alumiini, indium, gallium ja telluuri. Aurinkokennoja purettaessa kyseiset myrkylliset materiaalit voidaan kierrättää.

5.1.2 Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen

Tuotantoalueen sijoituspaikan valinnassa tulisi kiinnittää huomiota erityisesti luonnontilaisiin tai luonnontilaisen kaltaisiin, luonnonarvoiltaan arvokkaisiin alueisiin sekä suojeltujen lajien elinpaikkoihin tai levinneisyysalueisiin. Mahdollisia vaikutuksia voi aiheutua esimerkiksi maassa pesiviin lintuihin sekä pieniin nisäkkäisiin ja sammakkoeläimiin. Elinympäristöjen pirstoutuminen ja tämän vaikutukset on keskeisimpiä arvioitavia vaikutuksia.

Turvallisuuden edistämisen ja ilkvallan ehkäisyn vuoksi aurinkoenergian tuotantoalueet aidataan useimmiten. Aitaamisesta aiheutuu välitön vaikutus alueen eläimistöön, jos se estää nisäkkäiden ja sammakkoeläinten kulun. Estevaikutus voidaan minimoida jättämällä aitaan kulkuaukkoja pienemmille eläimille.

Jos kyseessä on erittäin laaja aurinkosähkön tuotantoalue, tulee eri lajien ekologiset käytävät huomioida.

Kun rakennusaikaisia jälkiä maisemoidaan ja poistettua kasvillisuuspeitettä ennallistetaan, tulisi käyttää paikallisten kasvien siemeniä tai taimia. On myös mahdollista jättää alue kylvämättä ja antaa lähialueen luonnontilaisuuden kasvillisuuden levitä tuotantoalueelle.

5.1.3 Vaikutukset vesistöihin ja pohjavesiin

Aurinkoenergian tuotantoalueen vaikutus sijoituspaikan vesitaseeseen on minimoitavissa soveltuvalla perustusratkaisulla ja pintarakenteella. Kun maanpintaa ei päällystetä asfaltilla, ja aurinkopaneelit sijoitetaan irti maasta, hulevesien (eli sade- ja

sulamisveden) takia ei normaalisti tarvita erikoisjärjestelyjä. Myöskään maanpinnan läpäiseminen ei ole välttämätöntä, jos valitaan painotettu teräs- tai betoniperustus. Saksan luonnonsuojeluliiton (NABU) ja aurinkoenergia-alan järjestön BSW:n kestävän aurinkopuistorakentamisen kriteereissä mainitaan, että alle 5 % tuotantoalueen pinta-alasta saisi olla vettä läpäisemättömiä päällysteitä.

Pohjaveden suojelun kannalta oleellinen kysymys liittyy vesakontorjuntaan. Kemiallisten ja synteettisten lannoitteiden tai torjunta-aineiden käyttö voi vaikuttaa pohjaveden laatuun. Vaikutus on ehkäistävissä toteuttamalla vesakontorjunta niittämällä tai laiduntamalla.

Myös muut ympäristölle myrkylliset aineet, kuten ruosteen- ja jäänestoaineet voisivat suurina määrinä maahan läikkyessään aiheuttaa haitallisia vaikutuksia pinta- ja pohjavesiin. Jäänestokemikaaleja käytetään lähinnä aurinkolämpöjärjestelmissä, kun taas jään- ja lumenpoisto aurinkopaneeleista on Suomessa toistaiseksi toteutettu mekaanisesti talvikauden lopussa. Jäänestokemikaalien käyttö on kuitenkin tuotu esiin teollisen kokoluokan aurinkopuiston ympäristövaikutuksia koskevassa kansainvälisessä aineistossa. Laajoja aurinkopuistoja suunniteltaessa on siis huomioitava mahdollisen kemiallisen jäänestokäsittelyn ympäristövaikutukset esimerkiksi pohjavesien kannalta.

Muilta osin aurinkopaneeleissa, niihin liittyvissä rakenteissa ja sähköjärjestelmissä ei käytetä ympäristölle haitallisia nesteitä tai öljyjä.

5.1.4 Vaikutukset maaperään

Rakentaminen ja kasvillisuuden poistaminen alueelta voi edistää eroosiota sekä pölyn ja pienhiukkasten määrän lisääntymistä ilmassa. Myös maaperästä lähtöisin olevien patogeenien vapautuminen ilmaan on mahdollista, ja tunnistettu kansainvälisessä tutkimuskirjallisuudessa yhdeksi huomioitavaksi ympäristövaikutukseksi, joita laajoilla aurinkopuistoilla voi sijaintialueesta riippuen olla.

Laaja tuotantoalue voi vaikuttaa alle jäävän maan tuottavuuteen, eli hiilensitomiskykyyn. Maankäytön muutosten seurauksena alue voi muuttua niin kutsutusta hiilinielusta hiilidioksidin lähteeksi.



Kuva 5-1 Aurinkopaneeleja peltoalueella. Suurin osa paneelien alle jäävästä maasta varjostuu. Kuva: Colourbox.

5.1.5 Maisemavaikutukset

Maisemavaikutukset koostuvat maiseman rakenteen, luonteen ja laadun muutoksista. Muutosten kautta syntyy myös visuaalisia vaikutuksia, joiden voimakkuus ja havaittavuus riippuvat paljolti tarkastelupisteestä ja vuorokauden- ja vuodenajasta.

Aurinkosähkön tuotantoalueen vaikutukset maisemaan ovat sidoksissa aurinkopaneelien ulkonäköön, kokoon ja näkyvyyteen liittyviin tekijöihin. Maisemavaikutus on laajojen tuotantoalueiden merkittävin ympäristövaikutus, mikäli järjestelmän rakentamisessa ja valituissa ratkaisuissa on muilta osin huomioitu alueen luonnonarvot.

Aurinkosähkön tuotantoalueen rakentaminen voi aiheuttaa suoria vaikutuksia maisemarakenteeseen (maa- ja kallioperään, vesiolosuhteisiin ja kasvillisuuteen). Vaikutuksia syntyy paneelien rakenteiden sekä olemassa olevan tiestön vahvistamisen tai uuden huoltotiestön rakentamisen seurauksena. Rakennuspaikoilta sekä lähiympäristöstä joudutaan mahdollisesti poistamaan puustoa sekä muokkaamaan maata paneelien perustusten alueelta. Rakentamisen aikaiset vaikutukset maisemaan ovat kestoltaan lyhytaikaisia ja laajuudeltaan paikallisia. Muutokset maisemassa ovat ainakin osittain palautuvia, kuten ympäristön kasvillisuus.

Aurinkoenergian tuotantoalueen toiminnanaikaiset vaikutukset ovat pääasiassa visuaalisia. Visuaalisten vaikutusten laajuus riippuu paljon alueen topografiasta ja peitteisyydestä (kasvillisuus) sekä tarkastelupisteestä ja ajankohdasta. Ympäröivän maiseman ominaispiirteillä ja sietokyvyllä on merkitystä visuaalisten vaikutusten voimakkuuteen. Esimerkiksi aurinkopuisto voidaan kokea maisemassa vähemmän häiritseväksi teollisuus- ja voimalaitosympäristöissä kuin rakentamattomilla luonnonalueilla tai avoimessa viljelymaisemassa. Maisemavaikutukset voidaan minimoida välttämällä paljaita ja/tai luonnontilaisia alueita, joissa aurinkopaneelit tai keräinjärjestelmä dominoisivat maisemaa.

Aurinkosähkön tuotantoalueiden vaikutusten suuruutta voidaan tarkastella vertaamalla niitä tuulivoimasta aiheutuviin maisemavaikutuksiin. Erityisesti maisemarakenteeseen kohdistuvat vaikutukset ovat pitkälti samantyyppisiä tiestön rakentamisen, perustusten vaatiman kentän sekä sähkönsiirron osalta. Tuulipuistossa tieverkosto yksittäisten turbiinien välillä on tosin laajempi ja turbiinien perustukset huomattavasti massiivisempia. Merkittävin ero on aurinkoenergian tuotantoalueesta ja tuulipuistosta aiheutuvissa visuaalisissa vaikutuksissa.

Aurinkopaneelien korkeus on perustustavasta ja asennuskulmasta riippuen noin 2-3 metriä, kun taas maatuulivoimalan napakorkeus vaihtelee noin 80–140 metrin välillä ja kokonaiskorkeus voi olla jopa yli 200 metriä. Tuulivoimala on varsinkin kaukomaisemassa paitsi korkeutensa myös liikkuvien lapojensa takia selvästi dominoivampi elementti. Aurinkopaneelien visuaalinen vaikutusalue voi jäädä hyvinkin paikalliseksi matalan rakenteen ansiosta. Toisaalta lähialueelta katsottuna laajan yhtenäisen maa-alan peittävä, geometrisista paneelimuodostelmista koostuva tuotantoalue voi olla maisemassa hyvinkin hallitseva, verrattuna yksittäisiin toisistaan etäällä sijaitseviin tuuliturbiineihin.

Aurinkopuiston vaatima pinta-ala on pienempi kuin tuulipuiston tapauksessa verrattaessa vastaavaa kapasiteettia ja tuotantoa. Maakunnallisesti merkittävän kokoluokan kriteerit täyttävä tuulipuisto on vähintään 30 MW, mikä mm. sijoittelusta ja topografiasta riippuen vaatii noin 300 ha alueen ja vastaa noin 100 GWh vuosituotantoa. Aurinkoenergian kohdalla tilantarve on noin 1,5–3 ha/MW, eli esimerkkituulipuistoa vastaavan tuotantokapasiteetin saavuttaminen vaatii noin 45–90 hehtaarin alueen, ja

tuulivoimatuotantoa vastaava aurinkovoimatuotanto voitaisiin nykyteknologialla saavuttaa noin 150 hehtaarin aurinkopuistolla.



Kuva 5-2 Eri maankäyttömuotoja. Tuulivoima ja aurinkovoima ovat hyvin erilaisia elementtejä maisemassa. Kuva: Colourbox.

5.1.5.1 Vaikutukset kulttuuriperintöön

Maisemat ovat olennainen osa kulttuuriperintöämme, sillä ne ovat syntyneet ihmisen ja luonnon pitkän vuorovaikutuksen tuloksena ja välittävät siten historiallisia ja kulttuurisia arvoja. Aurinkoenergian tuotannon puitteissa kulttuuriperintönä tarkastellaan arvokkaita maisema-alueita ja rakennettuja kulttuuriympäristöjä, rakennusperintöä, perinnemaisemia sekä kiinteitä muinaisjäänneksiä.

Aurinkoenergiarakentamisesta voi aiheutua fyysisiä muutoksia kulttuuriperintöön alueella, jossa on kiinteitä muinaisjäänneksiä hankealueella tai sen läheisyydessä. Aurinkoenergiatuotannon muita vaikutuksia kulttuuriperintöön saattavat olla esimerkiksi rakennusperintökohteiden arvon aleneminen visuaalisten vaikutusten seurauksena tai maisema-alueiden ja kulttuuriympäristöjen erityispiirteiden häviäminen tai muuttuminen aurinkopaneelien tai -keräinten rakentamisen myötä.

5.1.5.2 Maisemavaikutusten lieventäminen

Aurinkoenergian aiheuttamia visuaalisia vaikutuksia voidaan lieventää tuotantoalueiden sijoituspaikan suunnittelulla, valaistuksella ja aitauksella sekä paneelien tai keräinten ulkonäöllä. Selkeä yhtenäinen paneelien tai keräinten ryhmä on maisemassa rauhallisempi kuin useat, hajanaisesti sijoitetut yksittäiset paneelit tai keräimet. Järkevällä sijoittelulla voidaan vaikuttaa suotuisasti tuotantoalueen kokonaislaajuuteen.

Tuotantoalueiden valaistus tulisi pitää minimissään, ja aurinkopaneelien heijastusvaikutus tulisi huomioida mallin valinnassa. Tuotantoaluetta ympäröivä aita tulisi olla mahdollisimman huomaamaton tai muuten ympäristöönsä sopiva.

Aurinkosähkön tuotantoalueet sekä niihin liittyvät voimajohdot voivat pirstoa yhtenäisiä metsäaloja tai maisemakokonaisuuksia, jolloin on suositeltavaa, että tuotantoalueet sijoitetaan ympäristöön, jossa on jo ennestään maisemahäiriöitä. Maiseman kannalta

tuotantoalueiden sijoittamista korkeimmille selänteille ja rinnealueille tulisi välttää, samoin kuin selänteiden puuston hakkaamista.

Aurinkoenergian tuotantoalueen näkyvyyteen ympäröiville alueille ja yksittäisiin kohteisiin voidaan myös vaikuttaa seudulla tehtävillä metsänhoitotoimenpiteillä. Metsien käsittelytoimenpiteiden valinnalla voidaan vähentää tai jopa estää rakentamisesta aiheutuvat maisemanmuutokset. Tuotantoalueiden ympärille voidaan myös istuttaa näkymiä estävää tai rajaavaa kasvillisuutta.

Aurinkoenergian tuotantoalueiden suunnittelussa tulisi huolehtia, että rakentamisalueiden lähellä sijaitsevat muinaisjäännöskohteet säilyvät. Aurinkoenergian tuotantoalueen ja voimajohtoreittien rakentaminen, metsän raivaaminen sekä paneelien tai keräinten huolto tulee tehdä siten, että muinaisjäännöskohteet otetaan huomioon niitä vahingoittamatta. Tuotantoalueiden sijoittamista tulisi välttää maiseman tai kulttuuriympäristön kannalta arvokkaiksi luokitelluille alueille tai rakennusperintökohteiden välittömään läheisyyteen.

Ulkomailla (esim. Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa) toteutettujen aurinkoenergiahankkeiden vaikutusarvioinneissa korostuvat aurinkoenergian tuotantoalueiden vaikutukset erityisesti suunnittelualan maankäytölle ja maiseman kannalta arvokkaille tai merkityksellisille alueille ja kohteille. Maankäytön ohjauksessa painotetaan tyypillisesti aurinkoenergian tuotantolaitosten sijoittamista viljelykelpoisten alueiden ulkopuolelle tai alueille, joiden viljavuus tai ekologinen arvo on pieni. Etelään päin suuntautuvilla rinnealueilla maankäytöllinen ristiriita voi olla suurin: ne ovat usein viljelyn kannalta arvokkaita ja mahdollisesti maisemallisesti haastavia (paneelien näkyvyys ympäristöön korostuu), mutta teknistaloudellisesti järkeviä aurinkopuiston sijoituspaikkoja. Mikäli tuotantolaitos sijoitetaan viljelykäytössä olevalle alueelle, arvioinneissa pidetään tärkeänä, että alue voidaan palauttaa maatalouskäyttöön energiantuotannon loputtua.



Kuva 5-3 Aurinkosähkön tuotantoalue lähellä asutusta. Kuva: Colourbox.

Vaikutusarvioinneissa on myös nostettu esiin, että maisemassa tulisi säilyttää olemassa olevat näkymiä rajaavat kasvillisuusalueet ja muut luonnolliset esteet (kuten peltosaarekkeet). Tuotantoalueen lähiympäristössä olevat puut tulisi suojata rakennustöiden ajan. Tuotantoalueiden sijoittamisessa tulisi huomioida maiseman kauneusarvot. Useissa arvioinneissa myös ehdotetaan aurinkopaneelien alle jäävän maa-

alueen hyödyntämistä esimerkiksi harvinaisten kasvilajien viljelyyn (ekosysteemihotelli-periaate).

5.1.6 Vaikutukset mikroilmastoon

Aurinkopaneelit varjostavat maata ja muuttavat paikallisesti sadannan jakautumista maahan. Varjostuksen vaikutus alueen olojen kannalta on sitä merkittävämpi mitä kuivemmasta ja lämpimämmästä alueesta on kyse.

Aurinkopaneelien efektiivinen albedo, eli sen heijastuskykyä ja säteilyn hyödyntämiskykyä kuvaava ominaisuus, on useimmiten eri kuin sillä maa-alueella, jonka paneelit peittävät. Albedo vaikuttaa mikroilmastoon sen lämpötilavaikutuksen kautta. Jos aurinkopuisto rakennetaan aavikolle, alueen albedo laskee, mikä voi paikallisesti nostaa lämpötilaa. Kaupunkiympäristössä puolestaan aurinkopuisto voi kasvattaa alueen albedoa ja vaikuttaa paikallista ilmastoa jäähdyttävästi.

Jos laajan aurinkopuiston tieltä kaadetaan metsää ja korkeaa kasvillisuutta, pinnan rosoisuus muuttuu alueella, mikä voi vaikuttaa tuulen ominaisuuksiin; tuulennopeuteen ja turbulentsuuteen. Jos kyseessä on erittäin laaja aurinkopuisto, muutos tuulen dynamiikassa voi näkyä heikkona jopa kymmenien kilometrien päässä. Turbulentsuuden ja tuulennopeuden muutoksilla voi olla paikallisesti vaikutuksia myös haihduntaan, mutta verrattuna paneelien varjostuksen aiheuttamaan muutokseen haihdunnassa, turbulentsuuden vaikutus jäänee hyvin vähäiseksi.

5.1.7 Vaikutukset tutkiin ja lentoturvallisuuteen

Lentoliikenteen tutka- ja viestintäjärjestelmiin voi aiheutua häiriötä joko sähköisen vaikutuksen tai fyysisen esteen takia. Aurinkoenergian tuotannosta ei ole todettu aiheutuvan sähköistä häiriövaikutusta lentokenttien järjestelmien käyttämillä taajuuksilla. Fyysiset esteet tai niiden välillisesti aiheuttamat heijastukset voivat vaikuttaa esimerkiksi tutkien toimintaan, mikä tulee huomioida aurinkopaneeli- tai -keräinalueiden sijoittelussa suhteessa tutkalähtettämiin ja -vastaanottimiin (ACRP, 2011).

Nykyteknologialla aurinkopaneelit ovat vielä melko vahvasti heijastavia pintoja, vaikkakin vain alle 5 % paneelin pintaan tulevasta auringonsäteilystä heijastuu, mikä vastaa veden heijastuskykyä. Myös pinnan tasaisuus ja kiilto vaikuttaa siihen, millainen heijastusvaikutus siitä aiheutuu, joten sileiden aurinkopaneelien tapauksessa heijastus on hyvin terävä. Heijastusvaikutusten minimoimiseksi (ja hyötysuhteen maksimoimiseksi) on pyritty kehittämään aurinkopaneelipintoja, jotka ohjaisivat valoa aurinkokennoon mahdollisimman tehokkaasti. Esimerkiksi perinteisen piikennon päällystäminen kultakalvolla, jossa on pieniä aukkoja sekä valon niihin ohjaavia piipylväitä, saadaan vähennettyä heijastusten määrää. Ratkaisut ovat kuitenkin yhä laboratoriotutkimusasteella.

Aurinkolämpöjärjestelmien tapauksessa heijastus voi aiheutua joko peileistä tai absorptioputkista, ja voi olla todella voimakas.

5.1.8 Sähkömagneettiset kentät

Sähkömagneettisia kenttiä aiheutuu sekä luonnollisesti että ihmistoiminnasta, erityisesti sähköön tuotannosta ja jakelusta sekä sähkölaitteiden käytöstä. Jännite aiheuttaa sähköisen kentän, ja sähkövirta tuottaa magneettisen kentän. Kenttien voimakkuus

riippuu suoraan sen aiheuttavien jännitteen ja virran voimakkuudesta, ja heikkenee eksponentiaalisesti etäisyyden kasvaessa.

EU-tasolla on määritetty suositusarvot enimmäisaltistukselle, jotka seuraavat merkittävän ajan kestävästä oleskelusta sähkö- ja magneettikenttien vaikutuspiirissä. Suositus väestön pitkäaikaiselle altistusmäärälle 50 hertsin sähkökentässä on 5 kV/m ja magneettikentässä 100 μ T (mikroteslaa). Suomessa on voimassa nämä samat ohjearvot, minkä lisäksi Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen perusteella enimmäisarvot lyhytaikaisemmalle sähkö- ja magneettikenttien aiheuttamalle altistukselle ovat 15 kV/m ja 500 μ T. Staattiselle (tasasähkön) luomalle sähkökentälle vastaava raja on 40 000 μ T jatkuvassa altistuksessa.²

Esimerkiksi yhdysvaltalaiselvityksen mukaan 0.3 MW aurinkopaneelisarjan aiheuttama tasasähkön luoma staattinen magneettikenttä metrin päässä voisi teoriassa olla voimakkuudeltaan noin 200 μ T (Good Company), mikä vastaa alle yhtä prosenttia altistuksen suositusarvosta staattiselle magneettikentälle (40 000 μ T). Samassa tutkimuksessa todettiin, että aurinkopaneeliryhmien tasasähkön vaihtosähköksi muuttavilla inverttereillä magneettikentän voimakkuus on noin 30 μ T metrin etäisyydellä inverttereistä. Tämä on noin kolmasosa Suomessa käytössä olevista 50 Hz vaihtokentän suosituksista (100 μ T merkittävän ajan altistuksessa).

On mahdollista, että suuremmissa aurinkopuistoissa voitaisiin käyttää myös keskimääräistä isompia inverttereitä, mutta voidaan pitää epätodennäköisenä, että magneettikentän voimakkuus metrin etäisyydellä inverttereistä nousisi yli pidemmän altistusajan suositusten.

Suuremmissa tuotantolaitoksissa inverttereiden jälkeen pienjännitteinen vaihtovirta muunnetaan keskijännitteiseksi muuntamoissa. Tyypillisissä enintään 1000 A kiinteistömuuntamoissa, jotka vastaavat pääosiltaan aurinkosähkötuotantolaitoksen muuntamoita, sähkökentän voimakkuus vaihtelee välillä 2-5 μ T. Pienjännitepuolen läheisyydessä se voi nousta tasolle 60 μ T:n (Keikko ym., 1997). Nämäkin arvot alittavat selvästi käytössä olevat 100 μ T:n pidemmän ajan altistumissuosituksset.

Suurimmissa aurinkosähkön tuotantolaitoksissa voi lisäksi esiintyä muuntoasemia, joissa keskijännitteinen vaihtosähkö muunnetaan 110 kV suurjännitteelle. Sähköasemilla voi suurjännitekomponenttien läheisyydessä tapahtua pidempiaikaisten altistumisarvojen ylitystä, mutta koska nämä alueet ovat aidattuja eikä yleisöllä ole niihin pääsyä, ei niistä koidu haittaa väestölle.

Teollisen kokoluokan aurinkopuiston tapauksessa myös verkkoliittymän mahdollistava 110 kV voimajohto tuottaa sähkömagneettisen kentän. 110 kV:n voimajohtojen johtimet sijaitsevat korkealla, mistä johtuen 110 kV:n johtojen tapauksessa 5 kV/m merkittävän ajan altistumisarvo ei ylitä edes suoraan voimajohdon keskilinjan alapuolella (Fingrid Oyj, 2013). Myöskään magneettikentän vaikutuspiirissä tapahtuvan merkittävän oleskelun ohjearvo ei 110 kV:n johtojen tapauksessa ylitä edes suoraan johdon alapuolella (suurimmillaan noin neljäsosa suositusarvosta). Magneettikenttä laskee alle prosenttiin merkittävän ajan suositusarvosta noin 25-40 metrin päässä 110 kV:n voimalinjan keskilinjasta mitattuna. Aurinkopuistoa varten rakennettu voimajohto on ominaisuuksiltaan vastaava kuin mikä tahansa vastaavan jännitetason voimajohto.

Vertailuksi, kotitalouksien omista sähkölaitteista ja omasta vaihtosähköverkosta peräisin oleva taustamagneettikenttä asunnoissa on yleensä luokkaa < 0,1 μ T, mutta voi olla

² Sosiaali- ja terveysministeriön asetus (294/2002) 'ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen rajoittaminen'

esimerkiksi sähkölattialämmitteisissä asunnoissa myös luokkaa 1-2 μT . Kotitalouksien tyypillisten sähkölaitteiden pinnalla sähkölaitteiden muodostama magneettikenttä voi olla jopa 2 000 μT , mutta metrin etäisyydellä sähkölaitteiden magneettikentät vaimenevat tyypillisesti jo alle 0,6 μT arvoon (Fingrid Oyj, 2013).

5.1.9 Sosiaaliset vaikutukset

Mikäli ihmisten nykyinen elinympäristö ei merkittävästi muutu aurinkoenergian tuotantoalueen rakentamisen myötä, esimerkiksi laajamittaisten metsähakkuiden vuoksi, hankkeen sosiaaliset vaikutukset jäänevät pieniksi. Mahdollinen maiseman muutos sekä tuotantoalueen muotoilu ja ulkonäkö ovat pääasiallisia vaikutuksen aiheuttajia. Myös tuotantoalueen vaikutus paikalliseen virkistysaluekäyttöön tulee huomioida. Suurikapasiteettinen aurinkopuisto voi lisäksi vaatia voimalinjan rakentamisen, mikä voi olla merkittävämpi tekijä kuin itse tuotantoalueen rakentaminen.

Aurinkovoiman kielteiset ympäristövaikutukset ovat vähäiset, minkä vuoksi asenteet sitä kohtaan ovat pääasiassa positiiviset tai neutraalit ulkomailla laadittujen tutkimusten mukaan. Paikallisten osallistaminen hankkeeseen sen eri vaiheissa edistää positiivista asenneilmapiiriä (Sovacool & Ratan, 2012).

Paitsi paikalliset ja alueelliset näkökulmat, myös kansallisen tason poliittiset linjaukset, päätökset ja uusiutuvan energian näkyvyys poliittisella agendalla vaikuttavat asenteisiin. Esimerkiksi mahdollinen tuotantotukimekanismi voi herättää voimakkaita mielipiteitä. Myös lain ja säännösten läpinäkyvyys, selkeys ja se, kuinka hyvin ne mahdollistavat hajautetun uusiutuvan energian tuotannon, vaikuttavat ihmisten suhtautumiseen. Esimerkiksi verkkoyhtiöiden linjaus siitä, miten yksityisen tahon aurinkosähkön pientuotantoa voi alueella liittää verkkoon, voi ohjata ihmisten suhtautumista yleisemminkin aurinkoenergiaan.

Saksassa aurinkopuistot ovat 77 %:n kannatuksella toivotuin energiantuotantomuoto omalle kotiseudulle, ja kyselytutkimuksen mukaan hyväksyntä nousee 84 %:iin niiden vastaajien joukossa, joilla on ennakkokokemuksia aurinkopuistoista (Wunderlich, 2012).

PVACCEPT -projekti on kartoittanut asenteita ja suhtautumista aurinkosähkön tuotantolaitoksia kohtaan monta maata kattavalla Euroopan Komission rahoittamalla tutkimuksella. Tutkimuksen tulosten mukaan esimerkiksi vain joka kymmenes saksalainen mieltää tällä hetkellä markkinoilla olevat aurinkopaneelit epäesteettisiksi. Projektin johtopäätösten mukaan aurinkopaneelien muotoilu on tärkeä hyväksyttävyystekijä.

Myös Australiassa (Brook & Clark, 2015) aurinkoenergiaa kannatetaan isommalla osuudella kuin mitään muuta energiantuotantomuotoa. 87 % australialaisista kannattaa pientuotantoa ja 78 % teollisen mittakaavan tuotantoa, ja enemmistö mieltää aurinkosähkön olevan ”luotettava ja vankkumaton” sähköntuotantomuoto. Tutkimuksessa kuitenkin kävi myös ilmi, että kansalaisten tiedot teollisen mittakaavan aurinkoenergian tuotantolaitoksista ovat vähäiset. Esimerkiksi aurinkosähkön tuotantoalueiden koettu maisemavaikutus jakoi mielipiteitä: kolmannes piti visuaalista vaikutusta negatiivisena, kolmannes positiivisena ja kolmannes ei osannut sanoa, mikä myös viittaa vähäisiin tietoihin siitä, miltä laajat tuotantoalueet todella näyttävät. Vertailukohde tuulivoiman maisemavaikutuksen osalta vain 8 % ihmisistä oli epävarmoja.

Uusiin sähköntuotantomuotoihin liittyy usein monenlaisia pelkoja tai huolia, jotka kytkettyvät enemmän tai vähemmän tosiasioihin ja tutkittuihin ilmiöihin. Esimerkiksi sähköntuotannon yhteydessä voi nousta esiin kysymys järjestelmien aiheuttamasta sähkömagneettisesta kentästä (ks. kappale 5.1.8 Sähkömagneettiset kentät yllä).

5.1.10 Positiiviset vaikutukset

5.1.10.1 Ilmasto ja ilmanlaatu

Aurinkovoimalla tuotettu sähkö ei aiheuta kasvihuonekaasu- tai muita savukaasupäästöjä. Jos aurinkoenergia korvaa fossiilisilla polttoaineilla tuotettua sähköä tai lämpöä, vaikutukset ovat ilmastomuutoksen torjunnan kannalta positiivisia. Myös paikallisesti ilmanlaatu voi parantua, jos hiukkaspäästöt vähenevät.

Yhteispohjoismaisissa tutkimusprojekteissa (Holttinen 2004) on sähköjärjestelmäsimulointien perusteella todettu, että tuulivoima korvaa pohjoismaisessa tuotantojärjestelmässä ensisijaisesti hiililauhdetta ja toissijaisesti maakaasuun perustuvaa sähköntuotantoa. Näillä perusteilla tuulivoimalla tuotetun sähköön korvaamalle tuotannolle on laskettu hiilidioksidin päästökertoimeksi 0,68 tonnia/MWh. Tätä päästökerrointa voi pitää suuntaa antavana myös aurinkosähköön korvaamalle tuotannolle tarkempien selvitysten puuttuessa. Lisäksi laskelmiin pitää ottaa mukaan korvautuvan polttoaineen kuten kivihiilen kuljetus voimalaitokselle ja tuhkan kuljetus hyötykäyttöön tai läjitykseen.

5.1.10.2 Luonnon monimuotoisuus

Erityisesti muuntomaa-alueilla (esim. entinen teollisuusalue, intensiivisessä maatalouskäytössä ollut alue, lajistoltaan köyhtynyt ja mahdollisesti myös saastunut varastointi- ja liikennealue) luonnon monimuotoisuus, maaperän vakaus ja hiilensitomiskyky voivat palautua paremmin, kun alue on aurinkoenergiakäytössä.

Aurinkopaneelit ja -keräimet varjostavat ja suojaavat maata. Esimerkiksi lumivaippa jää ohuemmaksi niiden alla, mistä voi olla hyötyä mm. joidenkin lintulajien ruoan etsinnän kannalta talvisaikaan. Ei ole kuitenkaan näyttöä, että aurinkopuistot erityisesti houkuttelisivat lintuja tai vaikuttaisivat niiden talvehtimiseen.

5.1.10.3 Vesistöt

Vesialueella kelluville perustuksille rakennettu aurinkopaneelikokonaisuus voi esimerkiksi kastelualtaan yhteydessä suojata allasta liialta haihtumiselta, rehevöitymiseltä ja patopengertä eroosiolta estämällä aallokoitumista.

5.1.10.4 Maankäytön tehokkuus

Laskemalla, kuinka paljon energiaa voidaan tuottaa järjestelmän vaatimalla ja sen suorien tai epäsuorien vaikutusten kohteena olevalla neliömetrillä maata, voidaan arvioida aurinkopuiston todellista maankäytön tehokkuutta. Maa-alue, jonka aurinkopuisto järjestelmineen ja välillisine vaikutuksineen vaatii, on puiston jalanjälki. Verrattuna muihin uusiutuvan energian tuotantomuotoihin – tuulivoimaan, vesivoimaan ja biomassan polttoon – sekä hiilikaivoksiin, maaperusteisilla aurinkopuistoilla on paras maankäytön tehokkuus (Fthenakis & Kim 2009; Hernandez ym. 2014).

5.1.10.5 Sosiaaliset ja elinkeinovaikutukset

Päästöttömän uusiutuvan energian tuotantoalue voi lisätä alueen vetovoimaa ja parantaa kaupungin imagoa. Kaupunkimarkkinointi ja alueen identiteetin rakentamisen tai kehittämisen yhteydessä tehtävät valinnat voidaan myös nähdä yhtenä merkittävänä tekijänä siinä, kuinka laajamittaisesti aurinkoenergian tuotanto leviää.

Aurinkoenergian tuotantojärjestelmiä voidaan hyödyntää opetuskäytössä, mikäli omistaja mahdollistaa tuotantodatan seurannan.

Aurinkoenergia voi myös piristää elinkeinoelämää ja luoda työpaikkoja mm. järjestelmien valmistuksen, hankekehityksen, maanomistajien vuokratulojen ja laitosten rakentamisen sekä huollon kautta.

Aurinkoenergian elinkeinovaikutus voi näkyä seudulla jo ennen tuotantolaitosten rakentamista alueelle. Esimerkiksi Satakunnassa toimii Solar Forum, joka on alueelle syntynyt aurinkoenergiayritysten yhteenliittymä. Se pyrkii osaltaan luomaan ja kehittämään kansallista aurinkoenergiaosaamista sekä edesauttamaan klusteriin kuuluvien yritysten liiketoimintaedellytyksiä kansainvälisillä aurinkoenergiamarkkinoilla. Yrityksille tarjotaan koulutusta, teknologia- ja markkinatietoa sekä erilaisten tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiohankkeiden aktivoimista Satakunnan ammattikorkeakoulun ja Satakunnan osaamiskeskuksen toimesta (Satakuntaliitto 2012b).

5.2 Sähkönsiirron vaikutukset

Aurinkosähkön siirto tuotantoalueelta liittymispisteeseen tapahtuu joko keskijännitemaakaapelein tai 110 kilovoltin ilmajohtolla. Vaadittava johto- tai kaapelityyppi riippuu aurinkopuiston tehokapasiteetista. Vaikutusten osalta aurinkosähkön siirtoon rakennettavan voimajohtoon arviointiin pätee samat asiat kuin muidenkin sähkölinjojen tapauksessa.

Mikäli aurinkopuisto voidaan liittää keskijänniteverkkoon (puiston teho <15 MW), voidaan teho tyypillisesti siirtää yksittäisillä keskijännitemaakaapeleilla. Keskijännitemaakaapeleiden ympäristövaikutukset ovat asentamisen jälkeen pienet, sillä ne voidaan asentaa usein olemassa olevien teiden varsiin noin 0,5-1 metrin syvyyteen. Kaapeliojan leveys on noin yksi metri.

Suuria tuotantolaitoksia varten (puiston teho >15 MW) rakennetaan tarpeen vaatiessa 110 kV:n ilmajohto (ks. tekninen kuvaus kappaleessa 2.2.2).

Voimajohtojen rakentamisella on sekä lyhyt- että pitkäaikaisia ekologisia vaikutuksia. Vaikutukset voivat olla monenlaisia, ja niiden voimakkuus riippuu lukuisista tekijöistä. Ympäristön pirstoutuminen, kasvi- ja puupeitteen poistaminen sekä yleinen elinympäristön huonontuminen ovat vaikutuksia, joiden voimakkuus riippuu alueen aiemmasta maankäytöstä, topografiasta sekä kasvillisuustyypistä. Metsäalueella pirstoutuminen voi toisaalta ajaa lajeja pois, mutta toisaalta voimajohtokäytävä voi myös tarjota uudenlaisen elinympäristön ja edistää sitä kautta alueen monimuotoisuutta.

Voimajohtot aiheuttavat myös maisemavaikutuksia. Vaikutusten merkittävyys ja havaittavuus riippuvat voimajohtopylväiden korkeudesta, voimajohtoalueen leveydestä sekä voimajohtojen sijoittumisesta ympäröivään maisemaan. Luonnonalueille, avoimeen maisematilaan (esimerkiksi pellot, vesistöt, avoimet suoalueet) tai korkeille maastonkohdille sijoitetut uudet voimajohtot ja johtopylväät aiheuttavat maiseman luonteen muutoksia ja merkittäviä visuaalisia vaikutuksia. Peitteisessä maastossa, kuten

esimerkiksi metsäisellä alueella tai rakennetussa ympäristössä, voimajohdon maisemavaikutus saattaa olla hyvin paikallinen kohdistuen lähinnä johtoaukealle ja sen lähiympäristöön.

5.3 Esimerkkitapaukset Nakkila ja Rauma

5.3.1 Nakkilan Kurkelansuo

Nakkilan aurinkopuistohankealue sijaitsee noin kaksi kilometriä Nakkilan kuntakeskuksesta etelään. Alue muodostuu Kurkelansuon turvetuotantoalueesta, joka on ollut käytössä vuodesta 1971. Hankealue rajautuu pohjoisreunaltaan Valtatie 2:een (Helsingintie) ja muilta reunoiltaan metsäkaistaleisiin. Alueen kaakkoispuolella sijaitsee 110 kilovoltin voimajohtolinja. Muuten hankealueen ympäristö on alavaa viljelymaisemaa. Harva kyläasutus on keskittynyt alueen länsipuolelle.

Suunnitellun aurinkopuiston vaikutuksia maisemaan voidaan pitää kokonaisuudessaan vähäisinä. Hankealue on jo nykyisin tuotantoalueena, jolloin maiseman rakenteessa tai luonteessa ei tapahdu merkittävää muutosta aurinkopuiston rakentamisen myötä. Alueelle on myös olemassa oleva tieyhteys, joka toiminee myös huoltotienä. Sähkönsiirtoa varten ei tarvitse raivata uusia tai rakentaa ainakaan pitkiä voimajohtolinjoja. Hankealuetta ympäröivät metsäkaistaleet rajaavat tehokkaasti näkymiä ympäröiviltä pelto- ja asuinalueilta sekä valtatieltä. Hankealue rajautuu lännessä ja etelässä Leistilän ja Tattaran kylän maakunnallisesti arvokkaaseen kulttuurimaisemaan. Hanke ei heikennä kulttuurimaiseman arvoja, mikäli hankealueen länsi- ja eteläreunaa rajaavat metsäkaistaleet säilytetään ja niiden peitteisyydestä huolehditaan hoitotoimenpiteillä.

Hankealueen lähettyvillä ei sijaitse muita ympäristöllisiä tai kulttuurihistoriallisia rajoitteita. Se ei esimerkiksi sijaitse pohjavesialueella. Lähimmät suojelu- ja luonnonsuojelualueet sijaitsevat yli kahden kilometrin päässä valtatieen toisella puolella. Hankealue rajautuu valtatiehen, mutta tien ja alueen välillä on puustoa ja maavalleja jotka tehokkaasti peittävät näkymiä tielle. Vaikutuksia liikenneturvallisuuteen esimerkiksi heijastusten takia ei siis ole odotettavissa.

Kaiken kaikkiaan alue soveltuu ympäristövaikutustensa kannalta erittäin hyvin aurinkosähkön tuotantoon, erityisesti ottaen huomioon sen nykyinen käyttö.

Aurinkoenergian tuotantoalueiden vaikutuksia, jotka ilmenevät eri vaiheissa tuotantolaitoksen elinkaarta ja kohdistuvat eri tekijöihin, voidaan tarkastella matriisimuodossa. Seuraavassa on tehty alustava vaikutusmatriisi Nakkilan hankkeesta (Taulukko 5-1). Tämä vaikutusyhteenveto perustuu kartta- ja kuvatarkasteluihin, ei tarkempiin selvityksiin, joten sitä on pidettävä vain suuntaa-antavana.

Taulukko 5-1 Esimerkkimatriisi suunnitellun Nakkilan aurinkopuiston ympäristövaikutuksista. Vaikutuksen merkittävyys on merkitty värein: vihreä merkitsee myönteistä, keltainen lievää ja punainen mahdollisesti merkittävää kielteistä vaikutusta. Ilman väriä tarkoittaa että selkeitä vaikutuksia ei ole odotettavissa.

Vaikuttava tekijä	Rakennusvaihe	Käytönaika	Luonnon monimuotoisuus	Aluetalous, työllisyys	Maisema ja kulttuuriympäristö	Maaperä	Ihminen	Pohjavedet	Ilmasto	Mikroilmasto	Vesistöt
Rakennusvaiheen maatyöt (maanmuokkaus, raskaiden ajoneuvojen liikenne, maakaapelointi)	x										
Rakennusvaiheen melu, värinä ja aineelliset päästöt	x										
Aitaaminen, alueen rajaaminen		x									
Asennus, maan peittäminen aurinkopaneeleilla (varjostus, perustukset salaojitus)		x									
Visuaalinen havaittavuus (sijainti, näkyvyys, ulkonäkö, heijastukset)		x									
Päästöt (aineelliset päästöt, paneelien kuumentuminen, sähkömagneettiset kentät)		x									
Huolto		x									

5.3.2 Rauman Lakari

Rauman Lamarin aurinkoenergianhankealue sijoittuu noin 8 km Rauman keskustasta itään, koillisella teollisuusalueella junaradan molemmin puolin. Alue sijoittuu Äyhöntien ja Vuorenhontien liittymän itäpuolelle. Pohjoisessa suunnittelualuetta rajaavat Lamarin korttelialueet ja Rahtikatu. Alueen maisemassa vuorottelevat luonnontilaiset metsäiset selänteet, suoalueet ja pienet peltokaistaleet. Hankealueella ja ympäristössä on useita maisemahäiriöiksi luokiteltavia kohteita, kuten moottorirata, ampumarata, jäteasema, käytöstä poistettu kaatopaikka sekä erilaajuisia teollisuusalueita. Lisäksi aivan hankealueen itäpuolella sijaitsee sähköasema, josta risteää useita voimajohtolinjoja. Hankealueen lähiympäristössä ei ole asuinrakennuksia. (Rauman kaupunki 2016)

Kaava-alueen länsiosa sijaitsee maakuntakaavassa (vahvistettu 30.11.2011) teollisuus- ja varastotoimintojen alueella (T) ja itäosa on osoitettu yhdyskuntarakenteen laajenemissuunnaksi teollisuusaluetta varten. Sähköaseman alue ja sen lähiympäristö on merkitty energiahuollon alueeksi (EN). Rauma–Kokemäki-rata on merkitty maakuntakaavassa pääradaksi ja aluetta koskee MRL 33 §:n mukainen rakentamisrajoitus. Alueen tuntumassa on ajoharjoittelu- ja moottoriurheiluratamerkintä. Alueen läpi kulkee yhdysvesijohtomerkintä.

Raumalla on vireillä koko kaupungin kattava yleiskaava. Yleiskaava Visio 2025:ssä alue on osoitettu osin teollisuus- ja varastoalueeksi (T) ja osin Energian huollon alueeksi (EN). Hankealueella on myös vireillä ja voimassa useita muita osayleiskaavoja tai asemakaavoja.

Suunnitellun aurinkopuiston vaikutuksia maisemaan voidaan pitää kokonaisuudessaan vähäisinä. Rauman hankealueelta joudutaan mahdollisesti raivaamaan olemassa olevaa kasvillisuutta sekä muokkaamaan maata perustuksia varten. Huoltoteissä ja sähkönsiirrossa voidaan todennäköisesti hyödyntää suurimmilta osin olemassa olevaa tiestöä ja voimajohtoja. Maisemarakenteeseen kohdistuvien vaikutusten suuruus riippuu hankkeen lopullisesta sijoituspaikasta. Aurinkopuiston rakentaminen voimistaa alueen nykyistä teollista ilmettä, mutta visuaaliset vaikutukset ovat hyvin paikallisia. Kasvillisuus ja maaston topografinen vaihtelu rajaavat näkymiä tehokkaasti. Hankealueella ja sen läheisyydessä on useita kiinteitä muinaisjäännöskohteita sekä -alueita, jotka tulee huomioida hankkeen suunnittelussa ja rakentamisessa.

Kaiken kaikkiaan alue soveltuu ympäristövaikutustensa kannalta hyvin aurinkosähkön tuotantoon, ottaen huomioon viereisten alueiden nykyinen käyttö ja hankealueen suunniteltu tuleva käyttö. Alueen läpi kulkevan raakavesikanavan avo-osuuksien rantapuustosta on liito-oravahavaintoja, joten liito-oravan esiintymistä alueella tulee tutkia, ja liito-oravareviirit ja liito-oravien kulkuyhteydet on otettava huomioon suunnittelussa. Tuotantoalueen aitaamisella voi lisäksi olla estevaikutusta esimerkiksi pienten nisäkkäiden liikkumiselle.

Seuraavassa on tehty alustava vaikutusmatriisi Lamarin hankkeesta (Taulukko 5-2). Tämä vaikutusyhenteenveto perustuu kartta- ja kuvatarkasteluihin, ei tarkempiin selvityksiin, joten sitä on pidettävä vain suuntaa-antavana.

Taulukko 5-2 Esimerkkimatriisi suunnitellun Rauman Lamarin aurinkopuiston ympäristövaikutuksista. Vaikutuksen merkittävyys on merkitty värein: vihreä merkitsee myönteistä, keltainen lievää ja punainen mahdollisesti merkittävää kielteistä vaikutusta. Ilman väriä tarkoittaa että selkeitä vaikutuksia ei ole odotettavissa.

Vaikuttava tekijä	Rakennusvaihe	Käytönaika	Luonnon monimuotoisuus	Aluetalous, työllisyys	Maisema ja kulttuuriympäristö	Maaperä	Ihminen	Pohjavedet	Ilmasto	Mikroilmasto	Vesistöt
Rakennusvaiheen maatyöt (maanmuokkaus, raskaiden ajoneuvojen liikenne, maakaapelointi)	x										
Rakennusvaiheen melu, värinä ja aineelliset päästöt	x										
Aitaaminen, alueen rajaaminen		x									
Asennus, maan peittäminen aurinkopaneeleilla (varjostus, perustukset salaojitus)		x									
Visuaalinen havaittavuus (sijainti, näkyvyys, ulkonäkö, heijastukset)		x									
Päästöt (aineelliset päästöt, paneelien kuumentuminen, sähkömagneettiset kentät)		x									
Huolto		x									

6 AURINKOENERGIAN TUOTANTOALUEET MAAKUNTAKAAVASSA

6.1 Tavoitteet ja tarve

Maakuntakaavoituksen keinoin voidaan välittää valtakunnallisia alueidenkäyttötavoitteita ja Suomen ilmasto- ja energiastrategian linjauksia (kappale 3.2) alueelliselle tasolle, sekä viedä eteenpäin maakuntaohjelmassa ja maakunnallisessa ilmastostrategiassa linjattuja tavoitteita.

Satakunnan vaihemaakuntakaava 2:n tavoitteet nojaavat osittain Satakunnan ilmasto- ja energiastrategiaan. Strategian mukainen tavoite on edistää uusiutuvan energian käyttöä ja tuotantoa Satakunnassa vuoteen 2020 mennessä. Ilmasto ja energiastrategia on ollut keskeinen asiakirja tuulivoimarakentamista käsittelevän Satakunnan vaihemaakuntakaava 1:n laadinnassa. Strategiassa kuitenkin ilmaistaan myös yleisemmällä tasolla, että päästöjen vähentämistä tavoitellaan edistämällä ”*sellaisten energiamuotojen käyttöä, joiden kasvihuonekaasupäästöt ovat vähäisempiä kuin fossiilisten energiamuotojen*”. Kyseinen tavoite ja sen saavuttamiseksi listatut toimenpiteet linkittyvät aurinkoenergiatuotannon edistämiseen: ”*Edistetään uusiutuvan lähien energian tuotantoa*” sekä ”*edistetään uusiutuviin energiamuotoihin liittyvien liiketoimintamahdollisuuksien tunnistamista*”.

Tämä raportti on laadittu osana vaihemaakuntakaava 2:n valmistelua, tavoitteenaan edistää laajojen aurinkoenergian tuotantoalueiden sijoittamisen selvittämistä maakuntatasoisessa suunnittelussa. Alueiden käytön suunnittelu on yksi tekijöistä, joilla on tunnistettu olevan vaikutusta uusiutuvien energiamuotojen käytön lisäämiseen.

Tarvetta merkitä aurinkoenergian tuotantoalueet maakuntakaavaan voidaan tarkastella strategisten tavoitteiden lisäksi myös maankäyttö- ja rakennuslain säännösten pohjalta.

MRL 25.4 §:

Maakuntakaavassa esitetään alueiden käytön ja yhdyskuntarakenteen periaatteet ja osoitetaan maakunnan kehittämisen kannalta tarpeellisia alueita. Aluevarauksia osoitetaan vain siltä osin ja sillä tarkkuudella kuin alueiden käyttöä koskevien valtakunnallisten tai maakunnallisten tavoitteiden kannalta taikka useamman kuin yhden kunnan alueiden käytön yhteen sovittamiseksi on tarpeen.

Maakuntakaavalla siis ohjataan sellaisia asioita, joilla on valtakunnallinen tai seudullinen intressi tai jotka koskevat useampaa kuin yhtä kuntaa.

Aurinkoenergian tuotantoalueiden ohjaamiseen toimivat myös kuntakohtaiset ohjausvälineet: yleiskaava (MRL 35, 36 ja 39 §), toimenpidelupa (MRL 126 ja 126a §) ja kunnan rakennusjärjestys (MRL 14 §).

6.1.1 Maakunnallisesti merkittävä kokoluokka

Aurinkoenergiatuotannon kokoluokka ulottuu portaattomasti yksittäisestä aurinkopaneelistä aina monen sadan hehtaarin kokoiseen tuotantoalueeseen.

Maakunnallisesti merkittävän kokoluokan kriteerit voivat liittyä tuotantoalueen pinta-alaan tai tuotantokapasiteettiin ja sen edellyttämään sähköverkkoliityntään. Myös tuotantoalueesta aiheutuvat vaikutukset skaalautuvat joiltain osin alueen koon kasvaessa, mutta vaikutusten kannalta oleellisempaa on kuitenkin sijoituspaikan tyyppi ja ympäristö.

Esimerkiksi maakunnallisesti merkittävän kokoluokan kriteerit täyttävä tuulipuisto on vähintään 30 MW, mikä muun muassa sijoittelusta ja topografiasta riippuen vaatii noin 300 hehtaarin alueen ja vastaa noin 100 GWh vuosituotantoa. Aurinkoenergian osalta tällaista maakunnallisesti merkittävää tuulipuistoa vastaavan tuotantokapasiteetin saavuttaminen vaatii noin 45–90 hehtaarin alueen, ja tällaisen tuulipuiston tuotantoa vastaava aurinkovoimatuotanto voidaan nykyteknologialla saavuttaa noin 150 hehtaarin aurinkopuistolla.

Sähkönsiirron kautta tarkasteltuna selkeä kokoluokkakriteeri olisi se koko, jossa sähkönsiirtoa ei voida hoitaa keskijännitekaapeleilla, vaan joka edellyttää suurjännitejohdon (110 kV tai enemmän) rakentamista. Tällaisen tuotantolaitoksen koko on tässä selvityksessä esitetyn (kappale 2.2.2) mukaan yli 15 MW.

Suurjännitejohdolla (110 kV tai enemmän) voi olla useampaa kuin yhtä kuntaa koskevia vaikutuksia, jos se rakennetaan ilmajohtona, joka sijaitsee usean kunnan alueella. Toisaalta johdon taloudellisesti järkevä pituus noin alle 30 MW tuotantolaitokselta sähköasemalle on alle 15 kilometriä, joten sen varrelle ei yleensä ulotu montaa kuntaa.

Ehdotus: maakunnallisesti merkittävää kokoluokkaa on aurinkoenergian tuotantolaitos, jonka nimellisteho on yli 30 MW tai alueen koko on yli 60 hehtaaria.

6.2 Maakuntakaavan sisältövaatimukset, merkintätyypit ja oikeusvaikutukset

MRL 4.3 §:n mukaan maakuntakaava sisältää yleispiirteisen suunnitelman alueiden käytöstä maakunnassa tai sen osa-alueella. Yleispiirteisyyden vaatimus tähtää siihen, että valtakunnalliset, maakunnalliset ja seudulliset alueenkäyttötarpeet välittyisivät tarkoituksenmukaisesti kuntakaavoitukseen, rajoittamatta tarpeettomasti kuntakaavoituksen tasolla tehtäviä ratkaisuja. Maakuntakaavan sisällössä tämä tarkoittaa, että alueidenkäyttömuodot ja niiden sijoittuminen määritellään riittävän väljästi, ja lisäksi voidaan painottaa alueiden käyttöä ja yhdyskuntarakenteen kehittämistä koskevien kehittämisperiaatteiden määrittelyä varsinaisen aluevaraussuunnittelun rinnalla.

Vaihemaakuntakaavojen laadinnassa päämääränä on kokonaismaakuntakaava, mutta eri vaihekaavojen sisällöt voivat olla kattavuudeltaan hyvin erilaisia ja koskea jopa vain yksittäistä, jollekin maakunnan osa-alueelle sijoittuvaa alueidenkäyttöhanketta. Maakuntakaavan periaatteen mukaisesti niissä kuitenkin käsitellään vain sellaisia alueidenkäyttökysymyksiä, joilla on vähintään ylikunnallista merkitystä.

Ympäristöministeriön asetuksen mukaiset maakuntakaavan merkintätyypit (Maankäyttö- ja rakennuslaki 2000, Opas 10):

- kehittämisperiaatteet
- osa-alueiden erityisominaisuudet
- aluevaraukset
- viiva- ja kohdemerkinnät

Kokonaismaakuntakaavaan jäävät valkoiset alueet ohjaavat kuntakaavoitusta ja maankäyttöä osoittamalla, ettei alueelle kohdistu maakunnallisia tai seudullisia tarpeita. Vaihemaakuntakaavojen osalta puolestaan valkoisten alueiden tulkinta määräytyy kaavan sisällön perusteella.

Maakuntakaavaan liittyy myös kaavaselostus. Kaavaselostusta ei vahvisteta, eikä sillä ole suoranaisia oikeudellisia vaikutuksia, mutta selostuksella on kuitenkin huomattava

merkitys kaavan sisällön ja usein myös oikeusvaikutusten tulkinnassa. Kaavaselostus selvittää ja täydentää kaavakarttaa ja siihen kuuluvia merkintöjä ja määräyksiä.

6.2.1 Ohjaus kehittämisperiaatteiden avulla

Kehittämisperiaatteilla voidaan osoittaa alueita, jotka ovat maakunnan tavoitellun kehityksen kannalta merkittäviä. Kehittämisperiaatteet ovat kaavan muiden merkintöjen kanssa päällekkäisiä. Kehittämisen kohdealuemerkinnällä (tai vastaavalla) osoitettavan alueen sisälle voi siis sijoittua eri merkinnöin osoitettua alueiden käyttöä. Merkintää käytettäessä on huomioitava alueeseen kohdistuvat muut merkinnät.

6.2.2 Ohjaus osa-alueiden erityisominaisuuksien avulla

Maakuntakaavan osa-alueiden erityisominaisuudet voivat liittyä luonnon- tai kulttuuriympäristön, maiseman sekä luonnonvarojen erityisiin arvoihin. Myös osa-alueiden alueenkäyttöä erityisesti rajoittavat ominaisuudet (kuten melu- ja vaara-alueet) tai määritetyt suojavyöhykkeet voidaan merkitä erityisominaisuutena. Rakentamisrajoitusalueen laajentamista tai poistamista koskevat merkinnät kuuluvat tähän merkintätyyppiin. Merkinnässä voidaan käyttää rasteri- tai viivamerkintöjä.

Erityisominaisuuksia osoittavia merkintöjä voidaan käyttää muiden merkintöjen kanssa päällekkäin.

6.2.3 Ohjaus aluevarausmerkinnän avulla

MRL 25 §:n perusteella maakuntakaavassa voidaan käyttää aluevarausmerkintää, jos

- valtakunnallisten tai maakunnallisten tavoitteiden toteutumisen kannalta aluevarauksen osoittaminen on tarpeen; tai
- aluevarauksen osoittaminen maakuntakaavassa on tarpeen useamman kuin yhden kunnan alueiden käytön yhteen sovittamiseksi.

Aluevarausmerkinnällä osoitetaan alueen pääasiallinen käyttötarkoitus, ja aluevarausmerkinnät ovat toisensa poissulkevia.

Aluevarausmerkinnöillä voidaan täsmentää ja tarkentaa alueen kehittämisperiaatteita tai osa-alueiden erityisominaisuuksia osoittavia merkintöjä.

Kohdemerkintä on rinnastettavissa aluevarausmerkintään, mutta sitä käytetään kaavan mittakaavaan nähden hyvin pienialaisia alueita osoitettaessa, tai silloin, kun aluevarauksen laajuudella ei ole ylikunnallisen ohjaustarpeen tai maakuntakaavan muun sisällön kannalta merkitystä.

6.2.4 Ohjaus suunnittelumääräyksen avulla

Maakuntakaavassa voidaan antaa yleisiä suunnittelumääräyksiä aluevarausmerkinnän sijaan, tai niiden tueksi. Niiden avulla on mahdollista esittää tiettyyn teemaan liittyviä suunnitteluohjeita ja alueiden käytön kehittämistä koskevia tavoitteita ja periaatteita. Suunnittelumääräyksillä tulisi puuttua vain sellaisiin kysymyksiin, joilla on vähintään ylikunnallista tai seudullista merkitystä.

Suunnittelumääräyksillä voi olla mahdollista kohdentaa maakuntakaavan ohjausvaikutus kaavan tavoitteiden kannalta tarkoituksenmukaisimmalla tavalla.

Suunnittelumääräykset voivat koskea sellaisten toimenpiteiden suunnittelua ja toteuttamista, joilla vaikutetaan alueen käyttötapoihin tai käytön määrään. Määräyksessä esiin tuotavilla asioilla on kuitenkin oltava oleellista merkitystä kaavan sisältövaatimusten ja alueiden käytön yhteensovittamisen kannalta (esim. liittyen toiminnasta aiheutuvien haitallisten ympäristövaikutusten huomiointiin). Haitallisia ympäristövaikutuksia koskevat kaavamääräykset voivat ilmetä varsinaisen alueidenkäytön ohjauksen lisäksi myös toimintoja koskevana rajoituksena kaavakarttaan rajatulla alueella.

Suunnittelumääräykset liittyvät yksityiskohtaisempaa suunnittelua ja muuta viranomaistoimintaa koskeviin oikeusvaikutuksiin. Suunnittelumääräyksellä ei voida velvoittaa kuntaa tai muuta viranomaista maakuntakaavaa toteuttavan suunnittelun aloittamiseen. Kaavamääräykset ovat siten näiltä osin ehdollisia niin, että ne ohjaavat suunnittelua vain siinä tapauksessa, että kyseisen alueen suunnitteluun muuten ryhdytään. Tämä on otettava huomioon myös suunnittelumääräyksiä muotoiltaessa.

6.3 Kaavamerkintöjen soveltuminen aurinkoenergian tuotantoalueiden osoittamiseen

Maakuntakaavan merkintätyyppien soveltuvuutta aurinkoenergian tuotantoalueiden osoittamiseen voidaan pohtia niiden ominaisuuksien, merkintätavan sekä ohjaus- ja oikeusvaikutusten kautta.

Vaihtoehto 1: Pistemäinen merkintä maakuntakaavassa

Aurinkoenergian tuotantoalueita voidaan merkitä maakuntakaavaan pistemäisellä merkinnällä (esimerkiksi merkinnällä *aur*). Mikäli kuitenkin tavoitteena on ohjata aurinkoenergian tuotantoalueiden jatkosuunnittelua tunnistetuille, maakunnallisesti merkittävän kokoluokan ja kestävän aurinkoenergiasuunnittelun kriteerit täyttävälle alueille, pistemäinen merkintä on hankala, sillä se ei täsmällisesti osoita alueen rajoja ja sen laajuutta.

Viranomaisilla on maakuntakaavan edistämismääräys, mikä koskisi myös kaikkia merkinnällä osoitettuja aurinkoenergian tuotantoalueita. Merkintä myös aina rajoittaa kyseisten kohtien muuta maankäyttöä.

Vaihtoehto 2: Aluevarausmerkintä maakuntakaavassa

Valtakunnallisten tai maakunnallisten tavoitteiden toteutumisen näkökulmasta aurinkoenergian tuotantoalueiden merkitseminen maakuntakaavaan ei ole välttämätöntä, sillä aurinkoenergiatuotannolle ei ole esitetty määrällisiä tavoitteita. Aluevarausmerkinnällä voidaan kuitenkin katsoa olevan toivottu ohjausvaikutus, joka edistäisi uusiutuvan energian lisäämistä ja aurinkoenergian tuotantoa maakunnallisessa mittakaavassa, ja ohjaisi laajojen tuotantoalueiden suunnittelua etukäteen tunnistetuille, ympäristöllisen, sosiaalisen ja taloudellisen kestävyuden mukaisille sijoituspaikoille.

Aurinkoenergiatuotannon edistämiseen tähtäävä ohjausvaikutus toteutuisi hyvin aluevarausmerkinnällä, jolla osoitettaisiin valitut reunaehdot täytettäviä potentiaalisia aurinkoenergian tuotantoalueita maakuntakaavakartassa. Reunaehdot voisivat mukailla tässä raportissa esitettyä kriteeristöä (kappale 6.4).

Toinen peruste maakuntakaavan aluevarausmerkinnälle olisi alueidenkäytön yhteensovittamisen tarve useamman kuin yhden kunnan alueella. Tällä hetkellä ei ole

näköpiirissä, että useamman kunnan alueidenkäytön järjestämiseksi pitäisi sovittaa yhteen aurinkoenergian tuotantoalueita. Tästä syystä ei olisi tarpeen merkitä aurinkoenergian tuotantoalueita aluevarauksina maakuntakaavaan. Jos ilmenee yksittäisiä aurinkoenergian tuotantoalueita, jotka ulottuvat useamman kunnan alueelle, alueidenkäytön yhteensovittaminen on mahdollista toteuttaa kuntakohtaisina osayleiskaavoina, tai pienempien hankkeiden tapauksessa jopa ilman kaavaa rakennusjärjestyksen ja toimenpidelupien avulla.

Aurinkosähkön tuotantoon voivat liittyä ylikunnallisena rakenteena kantaverkkoon tai alueverkkoon liittymiseen tarvittavat voimajohdot, jos ne ovat suurjännitejohtoja (110 kV tai enemmän). Aurinkosähkön tuotanto ei edellytä muutosta maakuntakaavoissa esitettävien voimajohtojen merkitsemiseen.

Aluevarausmerkinnän käyttötapaa aurinkoenergian tuotantolaitosten osoittamiseksi:

- Aluevarausmerkintä voisi olla pistekatkoviivalla tai yhtenäisellä viivamerkinnällä osoitettu alue, johon kohdistuu kuplassa teksti *aur*. Tällainen merkintä rajoittaisi muuta maankäyttöä todennäköisesti enemmän kuin pistemäinen merkintä, koska aluevaraus osoittaa lähtökohtaisesti laajemman alueen rajat. Aluevarausmerkintää koskee sama viranomaisia koskeva hankkeen edistämismenettely kuin pistemäistä merkintää.
- Piirrosteknisestä näkökulmasta aluevarausmerkintä alkaisi olla mielekäs 1:100 000 mittakaavaisella kaavakartalla vasta, jos alueen koko on kartan mittakaavassa noin neliösenssenttimetrin kokoinen eli maastossa 100 hehtaarin suuruusluokkaa. Maakunnallisesti merkittävän aurinkoenergian tuotantoalueen pinta-ala on tämän selvityksen mukaan vähintään 60 ha.
- Aurinkoenergiatuotanto ei välttämättä vaadi omaa aluevarausmerkintää, vaan tuotantoalueita voidaan sijoittaa myös muilla merkinnöillä varatuille alueille. Sijoittamisen ehto on, että tuotantoalueen erityispiirteet eivät ole ristiriidassa kaavamerkinnän kanssa. Toisaalta on myös huomioitava, että muulla merkinnällä varattu alue täyttää kestävä aurinkoenergiarakentamisen kriteerit.

Seuraavat aluevarausmerkinnät voivat olla mahdollisia aurinkoenergian tuotantoalueen sijoittamisen kannalta: EN (energiahuollon alue), ET (yhdyskuntateknisen huollon alue), TT (ympäristövaikutuksiltaan merkittävien teollisuustoimintojen alue), M (maa- ja metsätalousvaltainen alue). Kaavoitusteknisesti merkinnät ovat soveltuvia, mutta merkinnän kuvauksessa olisi hyvä tuoda esiin aurinkoenergiatuotanto yhtenä maankäyttötapana, jotta ohjausvaikutus saavutetaan.

Vaihtoehto 3: Suunnittelumääräykset maakuntakaavassa

Suunnittelumääräys voi olla soveltuva tapa saavuttaa aurinkoenergian tuotantoalueiden osoittamiseen tähtäävä ohjausvaikutus. Suunnittelumääräyksen tulisi kohdistua kokoluokaltaan *maakunnallisesti merkittävään* (ks. kappale 6.1.1) aurinkoenergian tuotantoalueeseen. Suunnittelumääräyksen ominaisuuksiin kuuluu myös, että siinä voidaan tuoda esiin esimerkiksi haitallisten ympäristövaikutusten huomioon liittyviä ohjeita. Tämän ominaisuuden puolesta suunnittelumääräys on soveltuva työkalu kestävä aurinkoenergiasuunnittelun edistämiseksi maakuntakaavatasolla.

Suunnittelumääräyksen muotoilussa tulee huomioda, että sillä ei voida velvoittaa kuntaa tai muuta viranomaista maakuntakaavaa toteuttavan suunnittelun aloittamiseen.

Jos aurinkoenergian tuotantoalueisiin liittyvä suunnittelumääräys esitetään koko maakuntakaava-alueelle, suositus voisi kattaa seuraavat asiat:

Maakunnallisesti merkittäviä aurinkoenergian tuotantoalueita suunniteltaessa tulee huolehtia siitä, että alueen sijoittelussa on otettu huomioon ja pyritty turvaamaan 1) kulttuuriympäristön tai maiseman vaalimisen kannalta tärkeät alueet; 2) luonnonsuojelualueet ja luonnon monimuotoisuuden kannalta erityisen tärkeiden alueiden luontoarvot; 3) virkistysalueiden virkistysarvot; sekä 4) yhtenäiset metsäalueet.

6.4 Sijoittumista ohjaavat kriteerit ja sopivat sijoittumisalueet

Maakunnallisesti merkittävää kokoluokkaa olevat maaperusteiset aurinkoenergian tuotantoalueet vaativat noin > 60 hehtaarin pinta-alan. Erilaiset perusratkaisut mahdollistavat erilaisille alustoille rakentamisen, mutta sijoittelussa on huomioitava myös monia muita tekijöitä. Teknistaloudelliset vaatimukset (potentiaalinen tuotanto sekä verkkoliittymän toteutettavuus), muu maankäyttö, luokitellut maa-alueet sekä ennakoitavat ympäristö- ja sosiaaliset vaikutukset vaikuttavat siihen, mitkä alueet soveltuvat aurinkoenergian tuotantoalueiksi.

Kun kriteerit on määritetty selkeästi, kunnallisella ja maakunnallisella tasolla on mahdollista kartoittaa aurinkoenergiatuotannon kannalta potentiaalisia alueita, joilla lähtökohtaisesti ei tule vastaan maankäyttöön tai ympäristöön liittyviä ristiriitoja. Kartoitus ohjaisi teollisen mittakaavan aurinkoenergiatuotannon suunnittelua suoraan alueille, joilla konfliktiriskit on minimoitu. Esimerkit ulkomailta (kappale 4.2) puhuvat sen puolesta, että aurinkoenergian tuotantoalueiden suunnittelua mahdollisuuksien mukaan ohjattaisiin ns. *brown field* -alueille, jotka ovat aiemmin olleet muussa käytössä.

Kokoava esitys maakunnallisen kokoluokan aurinkovoiman tuotantolaitosten sijoittelukriteereistä on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 6-1).

Taulukko 6-1 Maakunnallisen kokoluokan aurinkopuistojen sijoittumisen esivalintaa ohjaavat kriteerit.

Poissuljettavat alueet		
Alueen tyyppi	Perustelu / kuvaus	Ehdotus puskuri-etäisyydeksi
Natura 2000 -verkoston alueet, luonnonsuojelualueet ja maakuntakaavassa osoitetut muut suojelualueet	Ympäristörajoitteet / ympäristöllinen herkkyys	200 m
Valtakunnallisesti ja maakunnallisesti arvokkaat maisema-alueet sekä merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt	Perinteisen maiseman arvojen säilyttäminen, kulttuuriympäristöjen keskeisten arvojen säilyttäminen.	-
Asuinalueet	Asukkaiden viihtyvyyden turvaaminen, häikäisyvaaran	200 m, tarkemmassa jatkosuunnittelussa

	minimoiminen.	tapauskohtaisesti määritettävä
Lintujen kerääntymisalueet (IBA, FINIBA, MAALI)	Lintujen karkottamisen välttäminen.	-
Laajat yhtenäiset metsäalueet	Metsien pirstoutumisen välttäminen, ekologisen kokonaisuuden turvaaminen.	-
Aktiiviset pellot	Pakettipellot mahdollisia	-
Aktiiviset turvetuotantoalueet	Joilla toiminnan arvioidaan jatkuvan 10+ vuotta	-
Kosteikot	Rakennettavuus, ympäristörajoitteet	-
Virkistysalueet, kansallispuistot	Virkistys- ja matkailuarvojen säilyttäminen	-
Maakunnallisesti merkittävän kokoluokan tuotantolaitoksille soveltuvien alueiden kriteerit		
Kriteeri	Perustelu / kuvaus	
Pinta-ala	Maakunnallisen mittakaavan näkökulmasta vaaditaan riittävän iso alue aurinkopaneelien käyttöön. Ehdotus: >60 ha.	
Auringonsäteily	Vuoden aikana saatava säteily pinta-alayksikköä kohden (esim. >800 kWh/m ²), vuodenaikaisvaihtelu, varjostuksen minimointi (etäisyys mahdollisesti varjostaviin rakenteisiin)	
Infrastrukturi	Alueen saavutettavuus, ei esteitä kaapeliojitukselle	
Verkkoonliityntä	Noin 2-15 MW:n tuotantolaitosten enimmäisetäisyys soveltuvasta 20 kV:n sähköasemasta noin 10-15 km. Tätä suuremmat tuotantolaitokset (maakunnallisesti merkittävä kokoluokka) on liitettävä lähtökohtaisesti 110 kV:n verkkoon, noin 15 km maksimietäisyydellä (teknistaloudellisesti järkevä etäisyys riippuu tuotantolaitoksen tehosta). Alueella oleva muu hajautettu energiantuotanto (tuulivoima, aurinkoenergia): voi vaikuttaa verkkoliitynnän mahdollisuuksiin. Lähtökohtaisesti tuuli- ja aurinkovoima voidaan yhdistää.	
Alusta / rakennettavuus	Tasainen tai kaltevuus etelän suuntaan (SE-S-SW), ei tulvariskiä, riittävä kantavuus. Perustusten valinnassa tulee huomioida alustan ominaisuudet.	

Alueen entinen maankäyttö	Tuotantoalueen sijoittelussa etusijalla tulisi olla alueet, jotka ovat tai ovat aiemmin olleet intensiivisessä käytössä, esim.: - teollisuusalueet ja näiden lähiympäristö - tienvarsialueet ja meluvallit - käytöstä poistuneet viljelyalueet - käytöstä poistuneet tai <10 vuoden kuluessa poistuvat turvetuotantoalueet - puolustusvoimien entiset alueet - entiset tai <10 vuoden kuluessa käytöstä poistuvat soranottoalueet.
---------------------------	--

6.4.1 Pohjavesialueiden soveltuvuus

Tuotantoalueen vaikutus pohjaveteen on minimoitavissa perustusratkaisulla ja kemiallisen vesakontorjunnan välttämällä. Kestävän aurinkoenergiasuunnittelun kriteereiden mukaan ”vettä läpäisemättömiä päällysteitä ei tulisi olla yli 5 % alueen pinta-alasta”. Tämä huomioiden ei lähtökohtaisesti ole tarvetta välttää luokiteltuja pohjavesialueita.

Jäänestokemikaalien käyttötarpeesta tai -määristä aurinkopuistojen yhteydessä ei ole selvityksiä Suomen olosuhteiden näkökulmasta. Toistaiseksi suurimpienkaan tuotantolaitosten yhteydessä ei ole käytetty kemiallista jäänpoistoa. Jäänestokemikaalien käyttö on kuitenkin tuotu esiin teollisen kokoluokan aurinkopuiston ympäristövaikutuksia koskevassa kansainvälisessä aineistossa. Laajoja aurinkopuistoja suunniteltaessa on siis huomioitava mahdollisen kemiallisen jäänestokäsittelyn ympäristövaikutukset esimerkiksi pohjavesien kannalta. Varovaisuusperiaatteella pohjavesialueelle ei tule osoittaa sellaista toimintaa, josta voi aiheutua riskejä.

6.4.2 Voimajohtokäytävien soveltuvuus

Rakentaminen voimajohtokäytävälle on rajoitettua, mutta mahdollista. Fingridin yleinen kanta koskien aurinkopaneelien rakentamista voimajohtokäytävälle on vielä avoin (1/2016) ja arviointi tehdään tapauskohtaisesti. Yleinen linjaus asiasta pyritään määrittämään keväällä 2016. Lähtökohtaisesti voimajohtokäytävällä sijoitettava rakennelma voi olla enintään 2 metriä korkea ja sen on sijoitettava rakennusrajoitusalueen ulkopuolelle huomioiden suojaetäisyydet voimajohtopylväisiin sekä huoltoväylät.

6.4.3 Käytöstä poistettujen turvetuotantoalueiden soveltuvuus

Käytöstä poistetut turvetuotantoalueet ovat alustaltaan yleensä varsin tasaisia ja pohjamaa on usein kivennäismaata, joka lähtökohtaisesti soveltuu aurinkopaneelien asentamiseen. Pohjalla voi olla myös hyödyntämätöntä turvetta, jota ei ole pystytty käyttämään esimerkiksi kentän mataloitumisen ja siitä johtuvien kuivanapito-ongelmien takia. Mahdollisen jäljellä olevan turpeen paksuus ja kosteus vaikuttaa alustan rakennettavuuteen.

Turvetuotantoalueiden sarkaojat ja muut ojarakenteet edistävät alueiden kuivana pysymistä turvetuotannon päättymisen jälkeenkin, mutta aktiivisissa vesienjohtamisjärjestelyissä voidaan tehdä turvetuotannon päätyttyä muutoksia, jotka vaikuttavat kuivatusolosuhteisiin. Myös alueiden mataloituminen turvekerroksen poiston jälkeen kasvattaa riskiä tulvaherkkyyteen; tapauskohtaisesti vaihtelu voi kuitenkin olla suurta. Jos turvetuotannon aikana tuotantokentän kuivatus on hoidettu pumppauksen avulla, tuotannosta poistamisen jälkeen alueen luontainen kuivatus ei välttämättä riitä. Lähtökohtaisesti aurinkosähkön tuotantoalueeksi parhaiten soveltuvat turvetuotantoalueet ovat niitä, joilta kuivatusvedet on johdettu painovoimaisesti, mutta kuivatusolosuhteita on syytä tarkastella tapauskohtaisesti. Mikäli rakentamisen taso on tulvarajan alapuolella eikä tulvimisvaaraa voida luotettavasti estää esimerkiksi painovoimaisella kuivatuksella, rakentaminen vaatii täyttöjen tekemistä.

Tuotannosta poistuneilla alueilla ei ole vesistökuormituksen suhteen velvoitteita. Aurinkoenergiatuotanto näillä alueilla ei oletettavasti aiheuta vesistöön päästöjä (ks. kappale 5.1, Vesistövaikutukset).

Turvetuotannosta poistamisen jälkeen alueet kasvittuvat hitaasti uudelleen. Etenkin paju leviää usein nopeasti alueille, joten aurinkoenergiatuotantoon käytettäviä kenttiä tulee ajoittain raivata pajukasvillisuudesta.

Turvetuotantoalueet on sarkaojitettu yleensä noin 20 metrin välein. Pitkien lohkojen keskellä ei yleensä ole ojien ylityksiä (siltoja/rumpuja), vaan huolto ja kulkeminen tapahtuu saran päästä, mikä on hyvä pitää mielessä myös aurinkoenergiatuotantoa suunniteltaessa.

Turvetuotantoalueille johtaa raskasta liikennettä kestävä tieverkosto perille asti. Osa alueista voi olla hyvinkin syrjäisiä, mikä voi asettaa haasteita alueen huollon ja valvonnan kannalta. Sähköverkkoon liityntää ei kaikilla turvetuotantoalueilla entuudestaan ole.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kansallisia ja maakunnallisia tavoitteita voidaan edistää maakuntakaavojen kautta. Aurinkoenergialle ei ole asetettu Suomessa varsinaisia määrällisiä tavoitteita, mutta uusiutuvalla energialle kokonaisuutena on kuitenkin asetettu valtakunnallisia ja maakunnallisia tavoitteita, ja aurinkoenergia on yksi mahdollisuus muiden joukossa. Aurinkoenergian tuotannon lisääminen tukee Suomen ilmasto- ja energiastrategiassa asetettuja tavoitteita hiilidioksidipäästöjen rajoittamisesta sekä uusiutuvan energian osuuden kasvattamisesta.

Satakunnan maakuntaohjelmassa 2014–2017 todetaan, että aurinkoenergia voi tarjota uusia mahdollisuuksia Satakunnalle. Yhtenä maakuntaohjelman painopisteenä on teollisuuden kasvu ja uusiutuminen ja toimenpiteenä uusiutuvan energian osuuden lisääminen energiantuotannossa. Satakunnan pitkän aikavälin strategisessa suunnitelmassa (maakuntasuunnitelmassa) on puolestaan todettu: ”Kehitämme, tuotamme ja käytämme tuuli- ja aurinkovoimaa sekä bioenergiaa”. Tavoite uusiutuvan energian osuuden kasvattamiseksi on linjattu myös Satakunnan ilmasto- ja energiastrategiassa.

Maakuntakaava on strategisen suunnittelun väline, jolla voidaan edistää esimerkiksi ilmasto- ja energiastrategian tavoitteiden toteuttamista. Aurinkoenergian tuotantoalueiden osoittaminen maakuntakaavassa voi siis olla perusteltua ilmastoon ja uusiutuvaan energiaan liittyvien tavoitteiden edistämisen näkökulmasta, vaikka aurinkoenergialle ei olekaan asetettu määrällisiä tavoitteita.

Kuntakohtaiset maankäytön ohjausvälineet (yleiskaava, asemakaava, toimenpidelupa ja kunnan rakennusjärjestys) voivat olla riittäviä keinoja ohjata aurinkoenergian tuotantoalueiden rakentamista. Jos maakuntakaavalla kuitenkin halutaan ohjata ja edistää aurinkoenergian tuotantoalueiden suunnittelua, tulisi maakuntakaavan suunnittelumääräysten tai muiden kaavamerkintöjen kohdistua kokoluokaltaan maakunnallisesti merkittäviin aurinkoenergian tuotantoalueisiin.

Maakunnallisesti merkittävän aurinkopuiston kriteerit voisivat liittyä esimerkiksi tuotantoalueen pinta-alaan tai tuotantokapasiteettiin ja tämän edellyttämään sähköverkkoliityntään. Maakunnallisesti merkittäväksi määriteltyn tuulivoimatuotantoon rinnastettuna noin 45-90 hehtaarin kokoinen aurinkopuisto olisi maakunnallisesti merkittävä. Jos kriteerinä olisi suurjännitejohdon vaativa aurinkopuisto, aurinkopuiston maakunnallisen merkittävyyden raja olisi 15 MW:n tuotantokapasiteetti. Pöyryn ehdotus on, että maakunnallisesti merkittävää kokoluokkaa olisi aurinkoenergian tuotantolaitos, jonka nimellisteho on yli 30 MW tai jonka pinta-ala on yli 60 hehtaaria.

Aurinkoenergian tuotantoalueiden osoittamiseen ja kestävä aurinkoenergiasuunnittelun ohjaukseen maakuntakaavoituksen keinoin on vaihtoehtoisia tapoja. Suunnittelumääräyksellä voidaan tuoda esiin paitsi aurinkoenergiaa toivottuna maankäyttömuotona, myös tuotantoalueen ympäristövaikutusten huomiointiin liittyviä asioita, ja ohjeistaa siten jatkosuunnittelua toivottuun suuntaan. Aluevarausmerkinnällä puolestaan on mahdollista osoittaa alueen rajat ja laajuus, ja merkintä voidaan kohdistaa alueelle, joka on valittu esimerkiksi tässä raportissa esiteltujen kriteerien pohjalta. Aurinkoenergian tuotantoalue ei kuitenkaan välttämättä vaadi omaa aluevarausmerkintää, vaan tavoiteltu ohjausvaikutus voidaan saavuttaa myös lisäämällä maininta aurinkoenergiasta vaihtoehtoisena maankäyttötapana muun, esimerkiksi EN-, ET-, TT- tai M-aluevarausmerkinnän kuvaukseen.

Esimerkit ulkomailta puhuvat sen puolesta, että aurinkoenergian tuotantoalueiden suunnittelua kannattaisi mahdollisimman paljon ohjata alueille, jotka ovat aiemmin olleet muussa käytössä.

LÄHTEET JA VIITTEET

ACRP, SYNTHESIS 28, 2011. Investigating Safety Impacts of Energy Technologies on Airports and Aviation - A Synthesis of Airport Practice.
<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/acrp/acrp_syn_028.pdf>

Ahoranta, J. 2015. Aurinkokenno. Alustava oppikirjamateriaali.

Andrews, R.W., Pearce, J.M., Pollard, A. 2013. The effects of snowfall on solar photovoltaic performance. Solar Energy, Vol 92.

Auvinen, K., Liuksiala, L. 2016. Aurinkoenergian edistämiskeinot kunnissa. FinSolar-hankkeen selvityksiä. Aalto-yliopisto.
< http://www.finsolar.net/?page_id=2997&lang=fi>

Brook, J., Clark, S., 2015: Establishing the social licence to operate large scale solar facilities in Australia: insights from social research for industry. IPSOS.
<http://www.ipsos.com.au/Ipsos_docs/Solar-Report_2015/Ipsos-ARENA_SolarReport.pdf>

Daval, X., Elfassi, P., Versini-Campinchi, F., 2013: Investment Guide: Photovoltaics in France.

ENE Solar Systems Oy www-sivut. <<http://www.enesolarsystems.fi/fi/aurinkopuistot>>. 7.1.2015.

Energiateollisuus ry. 2011. Ohje verkon suunnittelijoille tuotannon liittämisestä. 16.12.2011.

Energiateollisuus ry. 15.12.2015. Sähkönkulutuksen kuukausitilasto – Monthly statistics of energy consumption.

Energiavirasto, Väre. 27.10.2015. muokattu 17.11.2015. Sähköverkkoon liitetty pientuotanto – Viraston kysely.
<<http://www.slideshare.net/FinSolar/shkn-pientuotanto-2015-energiaviraston-kysely>>.

Fingrid Oyj. 2013. Kantaverkon voimajohtojen aiheuttamat sähkö- ja magneettikentät.

Finsolar 2014. Aurinkoenergiakäsitykset totta vai tarua.
<http://www.finsolar.net/?page_id=2421&lang=fi>. 29.2.2016.

Fraunhofer ISE. 2015. Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Study on behalf of Agora Energiewende.

Fthenakis, V., Kim, H.C. 2009. Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 13, Issues 6–7, August–September 2009, Pages 1465–1474.

Good Company. Scaling Public Concerns of Electromagnetic Fields Produced by Solar Photovoltaic Arrays.
<<http://www.oregon.gov/odot/hwy/oipp/docs/emfconcerns.pdf>>

Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., Barrows, C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S. ja Allen M.F., 2013. Environmental impacts of utility-scale solar energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews 29 (2014), 766-799.

Hernandez, R.R., Hoffacker, M.K, Field, C.B. 2014. Land-Use Efficiency of Big Solar. Environ. Sci. Technol., 2014, 48 (2), 1315–1323.

Holttinen, H. 2004. The Impact of Large Scale Wind Power Production on the Nordic Electricity System. VTT Publications 554. Espoo 2004.
<<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2004/P554.pdf>>. 23.2.2016.

Huld T., Müller R. ja Gambardella A. 2012. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. Solar Energy, 86, 1803-1815.

IEA 2015: Photovoltaic Power Systems Programme. Annual Report 2014. – International Energy Agency.

Institute for Energy and Transport (IET) www.sivusto.
<<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>>. 7.1.2016.

Keikko, T. ym. 1997. Pientaajuisten magneettikenttähäiriöiden pienentämismenetelmiä. Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Keravan Energia. 2016.
<<https://www.keravanaurinkovoimala.fi/fi/>>. 10.3.2016

Laleman, R., Albrecht, J., Dewulf, J. 2011. Life Cycle Analysis to estimate the environmental impact of residential photovoltaic systems in regions with a low solar irradiation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 15, sivu 267.

Lammaisten Energia. 2015. SUN-aurinkosähkö.
<<http://www.lammaistenenergia.fi/sun-aurinkosahko>>. 11.12.2015

Leskinen, P., Holma, A., Manninen, K., Sinkko, T., Pasanen, K., Rantala, M, Sokka, L. Maaliskuu 2014. Ympäristöministeriön raportteja, 9/2014. Uusiutuvan energian

tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja –riskit.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 2000. Opas 10. ISBN 951-731-249-0 (PDF).
<<http://www.ym.fi/download/noname/%7BC9A45BA3-88A8-43F0-AD43-E81B1991168D%7D/32056>>. 31.3.2016.

Motiva. 2014. Lupa-asiat.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/enne_n_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat>.

Motiva Oy.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/kokemuksia_aurinkosahkosta/seurantakohteita/porin_uimahalli>. 11.12.2015.

National Center for Photovoltaics.
<<http://www.nrel.gov/ncpv>>. 7.1.2016.

Ovaskainen. 2013. Porin ympäristövirasto pyörii ulvilalaisella aurinkosähkövoimalla.
<<http://www.satmatic.fi/fi/ajankohtaista/126>>. 11.12.2015

Pasonen, R., Mäkinen, K., Alanen, R., Sipilä, K. 2012. Arctic Solar Energy Solutions. VTT Technology 15.

Pirinen ym. 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010, Raportteja No. 2012:1, Ilmatieteen laitos.

Porin kaupunki 2011.
<https://www.pori.fi/uutiset/2011/09/porinuusiuiimahallionkaikenkansanvirkistyskeidas.html#.Vmqs7_mqpBd>. 11.12.2015

Pöyry Management Consulting Oy 2013. Loppuraportti 52X116181 Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa. 7.6.2013.

Rauman kaupunki 2016. . Asemakaava ja asemakaavan muutos. Aurinkoenergian tuotantoalue Lakariin. AK26-003. Osallistumis- ja arviointisuunnitelma. 8.2.2016.
<http://www.rauma.fi/sites/default/files/atoms/files/26_003_aurinkoenergian_tuotantoalue_oas.pdf>

Raumplanungsverordnung (RPV). Der Schweizerische Bundesrat, 28.6. 2000 (voimassaoleva 1/2016) .
<<https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20000959/index.html>>

Salon kaupunki. 25.1.2016. Tiedote: Salo ostaa aurinkosähköä paikallisesta aurinkopuistosta.
<<http://www.salo.fi/37373.aspx>>

Satakunnan Kansa. 2016. Raumalle tarjolla toinenkin aurinkovoimala. Satakunnan Kansa 3.2.2016
<<http://www.satakunnankansa.fi/Lehdess%25C3%25A4+t%25C3%25A4n%25C3%25A4%25C3%25A4n/1195016613657/artikkeli/raumalle+tarjolla+toinenkin+aurinkovoimala.html>>. 25.2.2016.

Satakuntaliitto. 2012a. Maakuntasuunnitelma – Satakunnan Tulevaisuuskäsikirja 2035.

Satakuntaliitto. 2012b. Satakunnan ilmasto- ja energiastrategia.
<<http://www.satakuntaliitto.fi/sites/satakuntaliitto.fi/files/tiedostot/linkki2ID1304.pdf>>. 16.3.2016.

Satakuntaliitto. 2014. Satakunnan maakuntaohjelma 2014–2017.

Satmatic Oy. 2012.
<<http://www.satmatic.fi/fi/ajankohtaista/9>>. 11.12.2015

ScienceAlert. 2016.
< <http://www.sciencealert.com/france-is-planning-to-install-1-000-km-of-solar-panelled-roads-in-the-next-5-years>>. 29.1.2016

SolarPower Europe. European Photovoltaic Industry Association (EPIA). Global Market Outlook for Solar Power 2015-2019.
<http://helapco.gr/pdf/Global_Market_Outlook_2015_-2019_lr_v23.pdf>. 7.1.2016.

Sovacool, B.K., Ratan, P.L., 2012. Conceptualizing the acceptance of wind and solar electricity. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 5268–5279

Suunnitteluohje 2014, Oulu.
<http://www.rescaoulu.fi/wp-content/uploads/20140610_ohje_asemakaavoitus.pdf>

Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A.. 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81, 1295–1305.
<<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>>.

Šúri 2007; Huld 2012. Solar radiation and photovoltaic electricity potential - country and regional maps for Europe. Institute for Energy and Transportation (IET).
<<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm>> 7.1.2016.

Tahkokorpi, M. 2015. Aurinkoenergiajärjestelmien hintayhteenveto v.1.2 11.3.2015.
<http://www.finsolar.net/wp-content/uploads/2015/03/aurinkosc3a4hkc3b6jc3a4rjestelmien_hintayhteenveto_11032015.pdf>. 7.1.2016.

Tahkokorpi & Müller. 2015. Koy Aurinkopajan aurinkosähköinvestointi, Pori.
<<http://www.finsolar.net/?p=2292&lang=fi>>. 11.12.2105

TEM 2013. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013. VNS 2/2013 vp. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, energia ja ilmasto, 8/2013.
<http://www.tem.fi/files/36730/Energia-_ja_ilmastostrategia_2013_SUOMENKIELINEN.pdf>. 29.2.2016.

TEM 2015.
<https://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen_maara>

Verohallinto, 2015. kohta 10.10

Wagner, C., Hawel, K. 2014. Stromerzeugung mit Photovoltaik-Anlagen: Wichtige Informationen über Bewilligungen – Förderungen – Steuern.
< <https://www.wko.at/Content.Node/Service/Umwelt-und-Energie/s/Stromerzeugung-mit-Photovoltaik-Anlagen-Stand-24.03.2015.pdf>>

Weißbach, G. Ruprecht, A. Huke, K. Czerski, S. Gottlieb, A. Hussein. 2013. Energy intensities, EROIs and energy payback times of electricity generating power plants. Energy. Vol 52, sivu 15.

World Energy Council, 2016. E-storage: Shifting from cost to value. Wind and solar applications.

Wunderlich, C., 2012. Akzeptanz und Bürgerbeteiligung für Erneuerbare Energien: Erkenntnisse aus Akzeptanz und Partizipationsforschung. Agentur für Erneuerbare Energien, Renew Special, Ausgabe 60.
<http://www.kommunal-erneuerbar.de/fileadmin/content/PDF/60_Renews_Spezial_Akzeptanz_und_Buergerbeteiligung_nov12.pdf>